

Resumen

La empresa de ingeniería NTE-SENER ha desarrollado un dispositivo llamado Autoplak que automatiza el proceso de sembrado de muestras de laboratorio en placas Petri con el fin de que se desarrolle un cultivo microbiano dentro de esta.

El objetivo del proyecto es organizar el proceso de montaje de las unidades de Autoplak para que su producción se lleve a cabo de la manera más eficiente posible.

En primer lugar, se ha realizado un estudio de mercado para ver cómo podría Autoplak introducirse en éste y poder así llevar a cabo una estimación de las ventas que se podrían producir tanto a corto como a largo plazo.

Gracias al posterior análisis funcional realizado, se puede ver por qué componentes y mecanismos está constituida una unidad de Autoplak, pudiendo así ser capaces de definir las tareas necesarias a llevar a cabo para completar su producción.

Teniendo en cuenta la previsión de ventas y la naturaleza del proceso de montaje se ha estudiado qué metodología de producción sería la más adecuada y se ha concluido que lo más indicado sería diseñar una línea de producción. Así pues, se ha llevado a cabo un estudio para determinar cómo debería ser el equilibrado de esta línea ante diferentes escenarios.

Mediante el desarrollo de una herramienta informática se ha realizado un simulador que, dados unos parámetros iniciales, es capaz de generar una demanda aleatoria y calcular cómo se comportaría la línea de producción. Gracias a esta herramienta y a la realización de numerosas simulaciones, se ha podido determinar cómo se debería dimensionar la línea de producción ante diferentes escenarios (baja, media y alta demanda) y se ha comprobado que en todos los casos se podría encontrar una configuración de recursos que permitiría cubrir la demanda.

Además, se ha realizado un presupuesto para estimar el impacto económico que tendría llevar a cabo la producción para NTE-SENER y se ha comprobado que la magnitud de los costes asociados sería completamente asumible para NTE-SENER. Por último, se ha estudiado el impacto ambiental que tendría la línea de producción y se ha determinado que este es muy pequeño ya que simplemente se reduce a los embalajes de los componentes.

La conclusión final es que NTE-SENER debería producir las unidades de Autoplak siguiendo la metodología de producción propuesta, pudiendo así ser capaz de cubrir la demanda y optimizar los recursos.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. PREFACIO	5
2. INTRODUCCIÓN	6
2.1. NTE-SENER.....	6
2.2. NTE-Healthcare.....	6
2.3. Autoplak.....	7
2.4. Objetivos del proyecto	8
2.5. Alcance del proyecto	8
3. ESTUDIO PRELIMINAR	9
3.1. Estudio de mercado	9
3.2. Tendencias del mercado	9
3.3. Mercado potencial	10
3.4. Previsión de ventas	13
4. FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA	18
4.1. Proceso de utilización.....	18
4.2. Características y especificaciones	24
4.2.1. Características Generales.....	24
4.2.2. Características técnicas	25
4.2.3. Usabilidad	26
4.2.4. Equipamiento opcional.....	26
4.3. Aspectos legales	27
5. COMPONENTES DE AUTOPLAK	29
5.1. Mecanismos	29
5.2. Componentes eléctricos.....	31
5.3. Ensamblaje de los subconjuntos de un ejemplar de Autoplak	32
5.3.1. Caja Eléctrica	32
5.3.2. Dispositivos controladores	33
6. PROCESO DE FABRICACIÓN	34
6.1. Descripción del proceso	34
6.2. Metodología de Producción.....	38

6.2.1. Producción orientada a proceso	38
6.2.2. Producción orientada a producto	39
6.2.3. Producción en cadena	40
6.3. Elección de la metodología	41
6.3.1. Equilibrado de línea	42
6.3.2. Evaluación de una línea con 3 Estaciones.....	49
6.3.3. Evaluación de una línea con 4 Estaciones.....	50
6.3.4. Evaluación de una línea con 5 Estaciones.....	51
6.3.5. Evaluación de una línea con 6 Estaciones.....	52
6.3.6. Evaluación de una línea con 7 Estaciones.....	53
7. SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LÍNEA	55
7.1. Características del programa.....	56
7.2. Simulaciones realizadas	58
7.2.1. Consideraciones previas.....	59
7.2.2. Escenario 1: demanda baja (20 unidades/año).....	60
7.2.3. Escenario 2: demanda media (40 unidades/año).....	61
7.2.4. Escenario 3: demanda alta (60 unidades/año).....	63
8. PRESUPUESTO	66
9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	70
9.1. Residuos generados durante el proceso de producción	70
9.2. Desmantelamiento de la máquina	72
9.3. Opciones alternativas	74
CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
Referencias bibliográficas	76

1. Prefacio

Para una empresa acostumbrada a trabajar en proyectos muy específicos y mayoritariamente de ingeniería espacial, supone un cambio muy importante pasar a fabricar una máquina para hospitales en serie. Los procedimientos habituales con los que el personal está acostumbrado a trabajar no sirven para este tipo de producción, y es completamente inviable aplicar las metodologías requeridas en proyectos aeroespaciales a una fabricación en serie. Por eso NTE-SENER se encuentra delante de un reto a la hora de planificar y llevar a cabo la producción de la máquina Autoplak.

2. Introducción

2.1. NTE-SENER

NTE-SENER es una empresa de ingeniería dedicada al desarrollo, integración y suministro de sistemas, instrumentos y equipos científicos y biomédicos de altas prestaciones para la investigación científica y las aplicaciones avanzadas. Forma parte del gran holding de empresas de tecnología SENER Grupo de Ingeniería y tiene más de 25 años de experiencia.

La compañía ha ido evolucionando a lo largo de los años y se ha abierto a muchos ámbitos de la investigación científica, en los que cubre necesidades de desarrollo de ingeniería y soluciones tecnológicas de alto valor añadido.

Los mercados y sectores en los que NTE-SENER desarrolla principalmente su actividad son:

- Espacio
- Astronomía y grandes instalaciones científicas
- Salud

Las capacidades multidisciplinares de la empresa en ingeniería se focalizan en las siguientes líneas de productos:

- Instrumentación y electrónica para ciencia y experimentación en el espacio
- Mecatrónica de precisión para astronomía y grandes instalaciones científicas
- Tecnología sanitaria

En estos campos, desarrolla actividades que van desde los estudios de viabilidad y de sistema hasta la producción de prototipos y series de equipos totalmente funcionales, incluyendo integración, verificación y certificación de productos.

2.2. NTE-Healthcare

Dentro del área de salud, NTE-SENER ha creado recientemente la marca NTE-Healthcare para comercializar productos propios. NTE-Healthcare aspira a convertirse en una marca

referente a nivel internacional en el desarrollo y suministro de sistemas, instrumentos y equipos de alto rendimiento en el sector biomédico.

En el contexto actual, los hospitales necesitan utilizar la tecnología para estandarizar procesos, liberar a sus profesionales de tareas repetitivas, así como para reducir la variabilidad de la práctica clínica. Todo ello tiene como objetivo disminuir costes e incrementar la eficiencia y la calidad. Así pues, todos los productos comercializados bajo la marca NTE-Healthcare buscan resolver, a través de soluciones innovadoras y de alto valor tecnológico, las limitaciones actuales en la automatización de procesos que existen en un campo de actividad tan exigente y crítico como el de la salud.

2.3. Autoplak

El primer dispositivo desarrollado por NTE Healthcare está orientado a los laboratorios de microbiología, y su nombre es Autoplak. Se trata de un dispositivo que automatiza el proceso de sembrado de muestras, es decir, el equipo es capaz de introducir una porción de una muestra (contenida en un tubo), en una placa Petri (previamente tratada) con el fin de iniciar y desarrollar el cultivo microbiano dentro de esta, contribuyendo así a mejorar la eficiencia de los laboratorios. Es un dispositivo versátil y fácil de usar en cualquier laboratorio sin necesidad de modificar los procesos o adaptar las instalaciones. Además, garantiza una total reproducibilidad de los cultivos y el aumento de productividad del laboratorio.



Fig. 2.1. Fotografías del dispositivo de sembrado automático Autoplak.

2.4. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto es organizar el proceso de montaje de las unidades de Autoplak para que su producción se lleve a cabo de la manera más eficiente posible, mediante el uso de una herramienta de simulación que permita valorar la necesidad de los recursos requeridos en distintos escenarios.

2.5. Alcance del proyecto

Se realizará un análisis de la máquina Autoplak tanto a nivel funcional para poder realizar un estudio de mercado como a nivel estructural para entender cuáles son sus componentes y cuál es la manera adecuada y lógica de realizar su ensamblaje.

Se estudiará qué tipo de metodología de fabricación debería ser aplicada y se realizarán simulaciones mediante un programa de ordenador para ver cómo se debería dimensionar el sistema a nivel de recursos para que fuera capaz de responder a la demanda en distintos escenarios. La construcción y puesta en marcha de la solución aquí propuesta no forma parte del contenido de este proyecto y queda por tanto fuera de alcance.

Se contempla también la realización de un presupuesto para estimar el coste que tendría llevar a cabo la producción y de un estudio de impacto ambiental para valorar cómo deberían ser gestionados los residuos generados durante el proceso de producción.

3. Estudio preliminar

3.1. Estudio de mercado

En los últimos años los laboratorios de Microbiología están viviendo una etapa de automatización en todas sus áreas. Algunos de los procedimientos que se llevan a cabo son muy laboriosos y repetitivos. Además, la mayoría de estos laboratorios están experimentando un incremento de la demanda, sin que ello conlleve un aumento de los recursos humanos, debido a motivos económicos. Por estas causas, actualmente existe una tendencia a automatizar el máximo número de tareas. Los procedimientos de siembra son tareas con muy poco valor añadido para el técnico; la automatización permite reemplazar estos procesos aumentando así la eficiencia del flujo de trabajo y permitiendo que estos se dediquen a realizar acciones de mayor valor añadido.

Los laboratorios de microbiología clínica son el cliente final. Hay que tener en cuenta por eso, que si el laboratorio pertenece al sector público la compra se realiza en base a concurso, mientras que si pertenece al sector privado la compra será decidida por el Gestor del laboratorio. En ambos casos, para este tipo de equipamiento es necesaria una evaluación satisfactoria previa del jefe del laboratorio de microbiología. Se puede distinguir entonces entre dos perfiles diferenciados de cliente; el gerente de laboratorio y el comité de compra del hospital. Al fin y al cabo, por eso los dos buscarán lo mismo en una máquina de este tipo, que ahorre tiempo y dinero al laboratorio y que ofrezca calidad en el proceso de siembra, si bien el comité de compra de un hospital público quizá sea un poco más sensible con el tema del coste de la máquina.

En el caso de España y en gran parte de Europa, los laboratorios de microbiología se encuentran en el sector público, aspecto que se deberá tener en cuenta a la hora de decidir la estrategia de marketing a seguir y se deberá realizar una vigilancia continua de los concursos públicos de adjudicación de equipos.

3.2. Tendencias del mercado

Las predicciones de futuro apuntan hacia la creación de grandes laboratorios donde trabaje personal de ingeniería y técnicos con un amplio espectro de conocimientos. Se tiende a la completa automatización de los procesos de siembra, incubación, identificación y determinación de la sensibilidad, y resistencia a los antimicrobianos, todo ello asociado a complejos sistemas informáticos de interpretación de resultados.

Autoplak se basa en la tecnología convencional para la realización de un análisis microbiológico, el método de recuento de colonias de microorganismos en placa Petri. Aunque la cuota de mercado actual de este método es todavía superior al 70%, esta ha ido disminuyendo en los últimos años. Sin embargo, sigue siendo el método estándar y seguirá siéndolo en los próximos años. Esta pérdida de cuota sufrida se ha compensado largamente con el incremento del mercado de análisis microbiológicos, de tal forma que los análisis convencionales realizados hoy con esta tecnología son cuantitativamente más que hace cinco años.

No hay que menospreciar, por eso, los avances surgidos recientemente en el campo de la geonomía y que algunos estudios surgieren que una vez trasladados al campo de la microbiología estos permitirán diagnosticar en base a fenotipos. Esto significa que a largo plazo (entre 10 y 15 años) es más que probable que las técnicas tradicionales de identificación de microorganismos basadas en el sembrado en placa, como la que utiliza Autoplak, sean sustituidas por métodos de biología molecular.

3.3. Mercado potencial

Para estimar el mercado potencial se ha hecho un estudio del volumen mínimo de actividad que debe tener un laboratorio para poder amortizar la adquisición de Autoplak.

Para estimar este volumen mínimo, la consultoría ANTARES¹ (a la que NTE-SENER contrató para hacer un estudio más preciso de la situación del mercado y de la posición que Autoplak podía ocupar en este) ha calculado el ahorro de tiempo de dedicación del personal técnico, ya que es la principal causa de adquisición de un sembrador automático, teniendo en cuenta variables como:

- Tiempo de dedicación de un técnico de laboratorio a la siembra: según el tipo de muestras (orina, heces, esputos, etc.) el tiempo de sembrado oscila entre 1 minuto y 4 minutos 40 segundos.

¹ Antares Consulting es una empresa internacional de consultoría en estrategia, gestión, y tecnología, especializada en salud, ciencias de la vida y servicios sociales y sociosanitarios.

- Naturaleza de las muestras: hay que tener en cuenta la distribución del tipo de muestras, ya que, como se ha comentado, cada una requiere su tiempo de sembrado.
- Sueldo de un técnico de laboratorio: tal como se especifica en las tablas salariales del "Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya" [1] el sueldo base de un técnico de laboratorio es de 1475,53€ al mes. A este importe por eso hay que añadirle la cuota patronal del 37,8% para saber el coste real que tiene para la empresa tenerlo contratado y se asumirá un incremento anual del sueldo del 1,4%.

Estimando un tiempo medio de sembrado de 170 segundos, un técnico de laboratorio que estuviera toda la jornada realizando siembras (6 horas al día sembrando y 2 horas al día preparando, identificando y almacenando las placas de Petri) podría alcanzar las 30.000 muestras/año. A pesar de que para este volumen la inversión sería rentable, se considera que en la situación actual que vive el sector público, difícilmente algún laboratorio realizaría una inversión que aproximadamente sería como la que se muestra a continuación en la Tab.3.1:

t (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	-140.000										
Inversión mejoras						-6.000					
Mantenimiento		-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500
Ahorro personal		19.824	20.102	20.383	20.669	20.958	21.251	21.549	21.850	22.156	22.467
Q	-140.000	17.324	17.602	17.883	18.169	12.458	18.751	19.049	19.350	19.656	19.967
Q Acumulado	-140.000	-122.676	-105.074	-87.191	-69.022	-56.565	-37.813	-18.764	586	20.242	40.209

Tab. 3.1. Inversión (en €) calculada con ahorro de 6,5 horas al día de personal (6 horas de sembrado + 0,5 horas de identificación).

Se puede ver que la inversión tiene un período de retorno de casi 8 años, un VAN de 5.332,87€ (con un interés del 4% y un horizonte de 10 años) y una TIR del 4,7%. Al tener un período de retorno tan grande y un VAN bastante justo para una inversión de 10 años, se considera mejor orientar el producto a laboratorios más grandes que puedan obtener mejores márgenes y que le saquen más partido a la máquina, pues para cantidades de entre 30.000 y 60.000 muestras/año entre 2 técnicos se podrían ir combinando para tratarlas. Se estima que es a partir de 60.000 muestras/año (que en condiciones normales equivaldría a tener a 2 técnicos destinados a realizar sembrados a jornada completa) que la inversión resulta atractiva para los laboratorios tal como muestra la Tab.3.2:

t (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	-140.000										
Inversión mejoras						-6.000					
Mantenimiento		-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500
Ahorro personal		36.599	37.111	37.630	38.157	38.691	39.233	39.782	40.339	40.904	41.477
Q	-140.000	34.099	34.611	35.130	35.657	30.191	36.733	37.282	37.839	38.404	38.977
Q Acumulado	-140.000	-105.902	-71.291	-36.160	-503	29.689	66.422	103.704	141.543	179.948	218.924

Tab. 3.2. Inversión (en €) calculada con ahorro de 12 horas al día de personal (11 horas de sembrado + 1 hora de identificación).

En este caso el período de retorno es de poco más de 4 años, el VAN es de 149.637,37€ (con un interés del 4% y un horizonte de 10 años) y la TIR es del 21,5%. Además ya se está hablando de un volumen importante de muestras/año para tratar y en el caso de que se produjera un pico de demanda, los técnicos por si solos lo tendrían difícil para poder cubrirlo, mientras que Autoplak sería completamente capaz.

Se concluye entonces que el volumen mínimo que debe tener un laboratorio para considerar la adquisición de un sembrador automático es de 60.000 muestras/año y esto más o menos corresponde a hospitales con alrededor de 500 camas.

Al ser un primer producto del área de dispositivos médicos de SENER, se analizará la demanda sólo en Europa y, más concretamente, en Alemania, Francia, Italia, Reino Unido y España, ya que los datos muestran que cubriendo estos países se cubre más de un 50% del mercado europeo. Además, cada uno de estos países crea sinergias en países de su área de influencia. Teniendo en cuenta estos aspectos se estima un mercado potencial de:

- En España (Hospitales > 500 camas): 72¹
- Resto de Europa (Hospitales > 500 camas): 657²
 - Reino unido: 99
 - Italia: 103
 - Francia: 213
 - Alemania: 242

¹ Datos extraídos por la consultora médica ANTARES del Catálogo de Hospitales del Ministerio de Sanidad y Consumo en febrero de 2014.

² Datos aportados por la consultora médica ANTARES en febrero de 2014.

Lo que supone un total de 729 hospitales.

3.4. Previsión de ventas

Según el estudio realizado por ANTARES, a partir de la información de las máquinas parecidas de la competencia y las condiciones con las que Autoplak saldrá al mercado, se estima que este tendrá una penetración en un rango de entre el 30% y el 60% en el mercado español tras 5 años de comercialización, con lo que se considerará una penetración media del 45% durante los 5 primeros años (fase de introducción y crecimiento).

Suponiendo que se vende un sólo sembrador por hospital y estimando un porcentaje de penetración para el resto de países, se obtiene la distribución de ventas mostrada en la Tab. 3.3:

Previsión de ventas Penetración a 5 años	Acceso a Hospitales potenciales	Penetración ¹	Previsión
España	72	45,0%	33
Alemania	242	15,0%	36
Francia	213	10,0%	21
Italia	103	22,5%	23
Reino Unido	99	22,5%	22
TOTAL	729	-	135

Tab. 3.3. Previsión de penetración de Autoplak.

En definitiva, la previsión de ventas se estima para Autoplak en un valor nominal de 135 unidades para los primeros 5 años de introducción y crecimiento que se distribuirían entre países y a lo largo de los años como se indica en la Tab.3.4. A partir de aquí se consideran 5 años más de maduración y declive, dando una previsión de ventas total a 10 años de 200 unidades:

¹ Estimaciones realizadas por la consultora médica ANTARES en febrero de 2014.

País	Año										TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
España	2	6	8	8	9	4	2	2	2	1	44
Alemania	0	2	8	12	14	7	4	3	2	2	54
Francia	0	1	5	7	8	5	2	2	2	1	33
Italia	0	1	5	8	9	5	2	2	2	2	36
Reino Unido	0	2	4	7	9	4	3	2	1	1	33
TOTAL	2	12	30	42	49	25	13	11	9	7	200
Introducción + Crecimiento					135	Madurez + Declive				65	

Tab. 3.4. Previsión inicial de ventas para Autoplak realizada por ANTARES.

Durante el mes de abril de 2014 se firma un Acuerdo Marco de Comercialización con la empresa Deltalab¹ donde se estipula que en la Península Ibérica se realizaría una comercialización directa conjunta y en el marco internacional se da distribución en exclusiva a Deltalab, quien a su vez establecería contratos de distribución con distribuidores previamente aprobados por SENER. En dicho acuerdo Deltalab se comprometía también a vender 240 unidades en 10 años:

País	Año										TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
España	2	6	8	10	11	6	5	3	2	1	54
Alemania	0	4	8	12	14	11	7	3	2	2	63
Francia	0	2	6	8	10	5	3	2	2	1	39
Italia	0	1	5	9	11	7	5	2	2	2	44
Reino Unido	0	2	4	9	12	6	3	2	1	1	40
TOTAL	2	15	31	48	58	35	23	12	9	7	240
Introducción + Crecimiento					154	Madurez + Declive				86	

Tab. 3.5. Previsión de ventas para Autoplak realizada por Deltalab.

Se considera oportuno trabajar con un distribuidor del sector en las tareas de comercialización ya que estos tienen experiencia en el mercado, tienen fuerza de ventas, ya tienen acciones de marketing que se pueden compartir (como por ejemplo la asistencia a congresos) y cuentan con bases de datos (CRM) con mucha información sobre potenciales clientes.

¹ Deltalab es una empresa líder en el diseño y fabricación de productos de un solo uso para laboratorio. Tiene presencia en más de 125 países y cuenta con una red de más de 900 distribuidores.

Sin embargo a finales de junio de 2014 entre Deltalab y NTE-SENER se hace una actualización del plan de negocio de Autoplak y se considera más prudente reducir las estimaciones de ventas a 220 unidades en 10 años:

País	Año										TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
España	2	5	8	8	9	8	7	3	2	1	53
Alemania	0	2	8	11	12	11	8	4	2	1	59
Francia	0	1	6	7	7	6	5	2	2	1	37
Italia	0	1	5	8	8	7	6	2	2	1	40
Reino Unido	0	1	5	6	6	6	4	2	1	0	31
TOTAL	2	10	32	40	42	38	30	13	9	4	220
Introducción + Crecimiento					126	Madurez + Declive				94	

Tab. 3.6. Previsión de ventas para Autoplak realizada entre Deltalab y NTE-SENER.

Por otro lado, Deltalab comunica su intención de empezar a negociar activamente con distribuidores en 4 zonas que no estaban inicialmente contempladas: Benelux, Marruecos, Suecia y Rusia. También se está estudiando la posibilidad de encontrar alguna oportunidad en países como: Brasil, Israel, Argentina, Uruguay, y Paraguay aunque cualquier otro puede ser explorado.

Así, NTE-SENER se encuentra entonces ante 4 posibles escenarios:

- Deltalab no consigue cumplir el objetivo acordado y se cumplen las previsiones iniciales realizadas por Antares.
- Aprovechando su fuerza en el mercado y sus contactos Deltalab consigue vender las 220 unidades acordadas en junio de 2014.
- Deltalab consigue penetrar en países europeos inicialmente no contemplados y en Marruecos, lo que se estima que podría suponer un incremento de ventas de 85 unidades respecto el caso anterior y alargar 2 años la vida del producto llegando así a las 305 unidades vendidas en 12 años.
- Deltalab además consigue encontrar oportunidades de negocio internacionales y consigue entrar en países de todo el mundo, lo que se estima que podría suponer un incremento de ventas de 85 unidades respecto el caso anterior y alargar 2 años más la vida del producto llegando así a las 390 unidades vendidas en 14 años.

A continuación se reflejan los datos en la Tab.3.7 y en el gráfico Fig. 3.1. Hay que notar que en los dos primeros escenarios los datos han sido proporcionados por Antares y Deltalab respectivamente, mientras que en los dos últimos, para poder dibujar la curva del ciclo de vida del producto partiendo del incremento estimado con Deltalab, se ha considerado:

- Se produce un crecimiento muy rápido como en el resto de escenarios y se mantiene un buen nivel de ventas durante 3-5 años y entonces empieza el declive.
- En el último año se venden un 15% de unidades respecto al pico máximo.
- En el último escenario el pico máximo se produce un año más tarde que en el resto ya que se ven más países involucrados y las negociaciones con algunos pueden alargarse.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsión inicial Antares	2	12	30	42	49	25	13	11
Previsión Deltalab a Junio 2014	2	10	32	40	42	38	30	13
Estimación con acuerdo Deltalab expansión Europea y Marruecos	2	14	32	46	52	48	40	26
Estimación con acuerdo Deltalab expansión internacional	2	14	30	49	54	57	52	45

Año	9	10	11	12	13	14	TOTAL
Previsión inicial Antares	9	7	0	0	0	0	200
Previsión Deltalab a Junio 2014	9	4	0	0	0	0	220
Estimación con acuerdo Deltalab expansión Europea y Marruecos	19	12	8	6	0	0	305
Estimación con acuerdo Deltalab expansión internacional	35	23	17	12	9	7	390

Tab. 3.7. Previsión de ventas de los distintos escenarios.

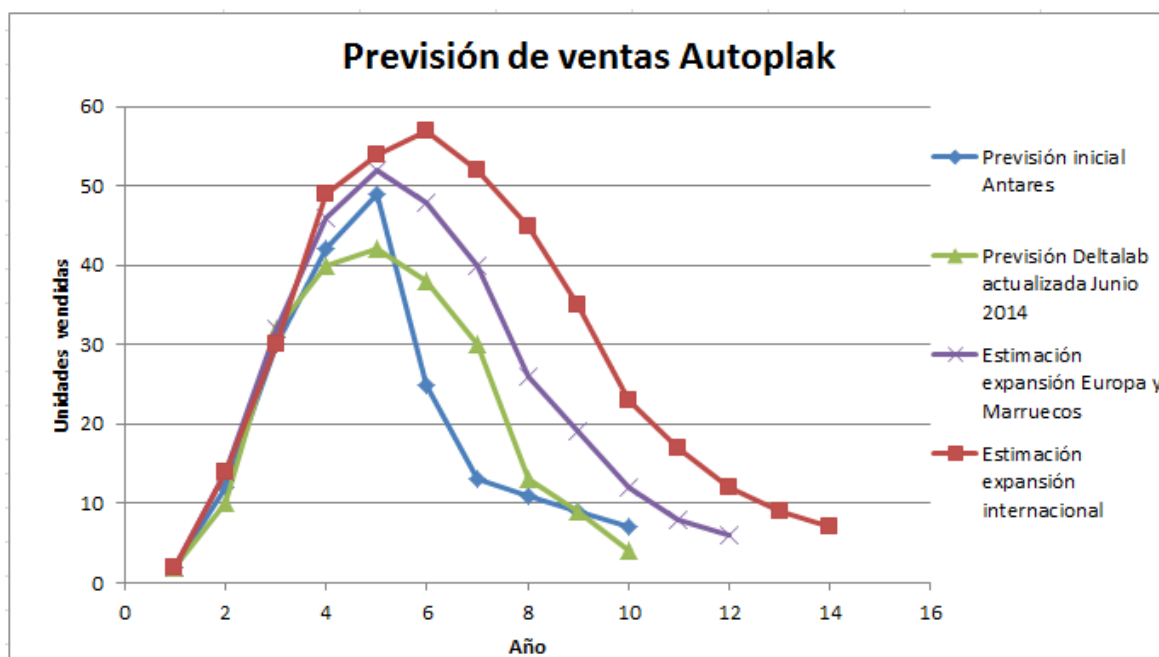


Fig. 3.1. Gráfico de la previsión de ventas de los distintos escenarios.

4. Funcionamiento y características de la máquina

Autoplak funciona mediante un conjunto de actuadores, brazos mecánicos y robots, todos controlados por *drivers* electrónicos. Y después, a partir de simples indicaciones introducidas por el usuario mediante una pantalla táctil, el dispositivo es capaz de realizar el sembrado de un conjunto de muestras almacenadas en tubos, en placas Petri.

4.1. Proceso de utilización

Para llevar a cabo el complejo proceso de sembrado, Autoplak debe realizar diferentes operaciones que requieren de la precisa interacción de sus componentes. A continuación (Fig. 4.1.a-g) se presenta una explicación detallada paso a paso de todo el proceso que ayudará a entender por qué componentes está constituida cada unidad y qué función desempeña cada uno de ellos:

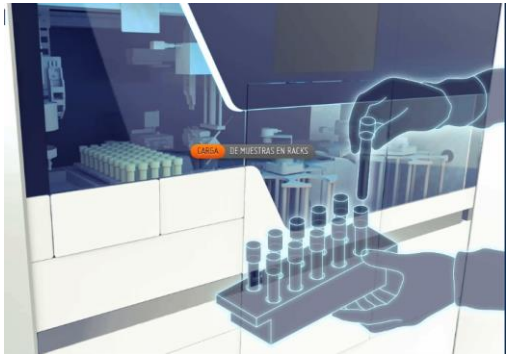
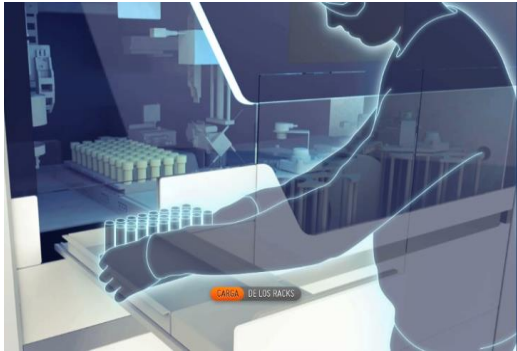
Paso	Descripción	Foto
1	El usuario debe colocar los tubos con las diferentes muestras en los racks.	
2	Los racks se colocan en el cajón indicado. Hay capacidad para 10 racks y en cada rack se pueden poner 10 tubos de muestra.	

Fig. 4.1.a _Proceso paso por paso que realiza Autoplak (Pasos 1-2).



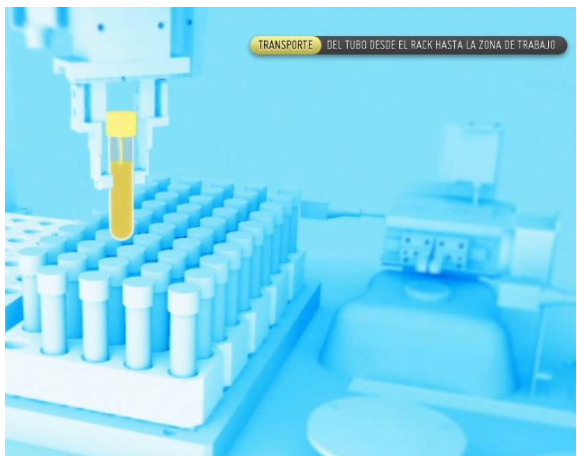
3	<p>El usuario también debe preocuparse de cargar placas de Petri en el carrusel de entrada para poder realizar las siembras. En este carrusel se pueden poner hasta 240 placas preparadas con diferentes tipos de medios de siembra pues cuenta con 6 silos.</p>	
4	<p>Mediante la pantalla táctil el usuario introduce los parámetros deseados (como por ejemplo el tipo de sembrado) y cuando está todo preparado da la orden de empezar el proceso.</p>	
5	<p>El cabezal manipulador de tubos coge un tubo de un rack y lo lleva hasta la zona de trabajo.</p>	

Fig. 4.1.b. _Proceso paso por paso que realiza Autoplak (pasos 3-5).


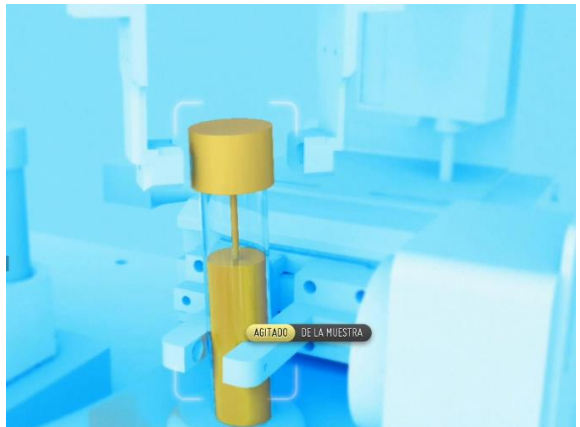

6	Un lector de código de barras escanea el código del tubo para identificar la muestra.	
7	Se coloca el tubo encima de un agitador que lo sujeta mediante una pinza y lo remueve para que se mezcle la muestra.	
8	El cabezal manipulador de tubos destapa el tubo de la muestra.	

Fig. 4.1.c. _Proceso paso por paso que realiza Autoplak (pasos 6-8).

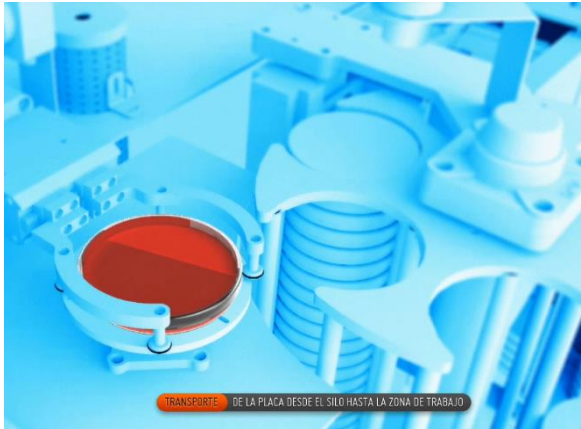


9	La pinza de placas transporta una placa Petri del carrusel de entrada hasta la zona de trabajo.	 <p>TRANSPORTE DE LA PLACA DESDE EL SILO HASTA LA ZONA DE TRABAJO</p>
10	La misma pinza de placas destapa la placa situada en la zona de trabajo.	 <p>DESTAPADO DE LA PLACA</p>
11	El robot de siembra introduce un asa en el tubo de manera que la punta queda impregnada con la muestra.	 <p>TOMA DE LA MUESTRA EL ASA RECIBE LA MUESTRA DEL TUBO</p>

Fig. 4.2.d. _Proceso paso por paso que realiza Autoplak (pasos 9-11).


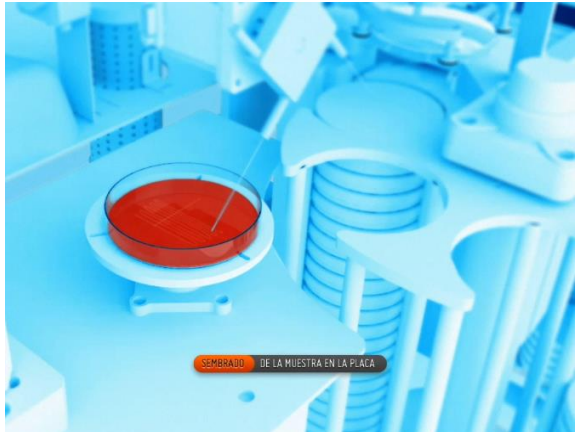

12	<p>Mientras un led rojo proyecta una luz en la punta de la asa, la cámara de detección de gota hace una foto. De esta manera la máquina es capaz de detectar automáticamente si la asa se ha impregnado correctamente de la muestra y por tanto ha quedado una gota en la punta de esta. En caso de que no sea así, el asa se vuelve a introducir en la muestra.</p>	
13	<p>El robot de siembra esparce la muestra por la placa Petri siguiendo el patrón deseado.</p>	
14	<p>La pinza de placas tapa la placa.</p>	

Fig. 4.1.e. Proceso paso por paso que realiza Autoplak (pasos 12-14).

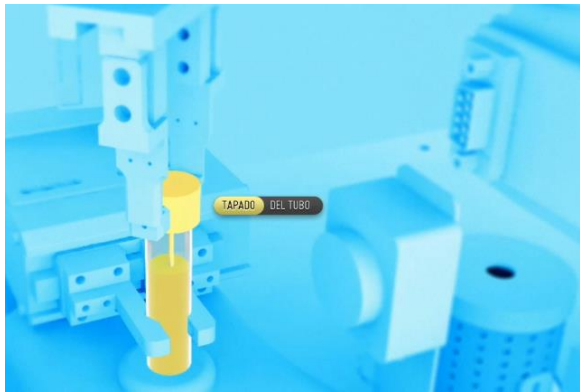

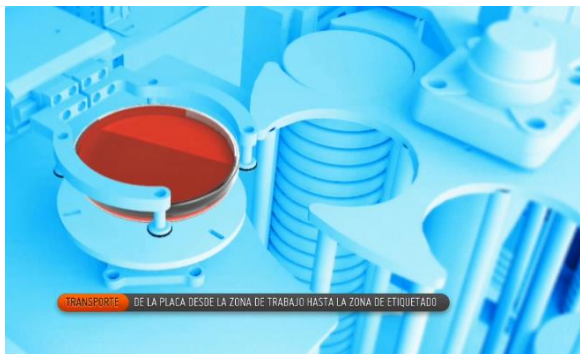


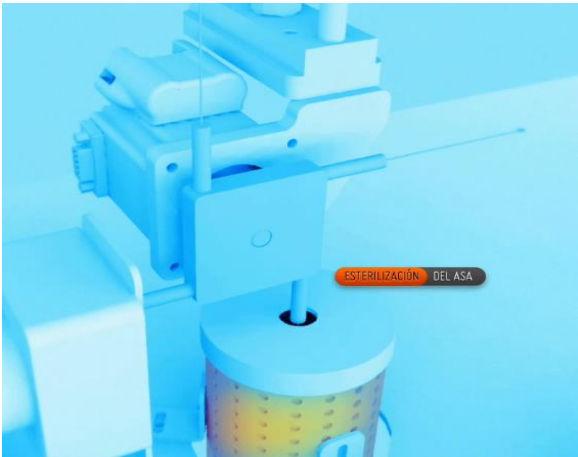
15	El cabezal manipulador de tubos tapa el tubo.	
16	El cabezal manipulador de tubos vuelve a dejar el tubo en la posición del rack que este ocupaba inicialmente.	
17	La pinza de placas transporta la placa Petri sembrada la zona de identificación.	
18	Una impresora imprime una etiqueta con el código correspondiente que se engancha en la placa Petri mientras esta se transporta de la zona de trabajo al carrusel.	

Fig. 4.1.f. Proceso paso por paso que realiza Autoplak (pasos 15-18).

19	Se coloca la placa Petri en el carrusel de salida clasificada según el medio.	 <p>ALMACENADO DE LA PLACA EN EL SILO, SEGÚN CLASIFICACIÓN DE MEDIO</p>
20	La asa utilizada para hacer la siembra se introduce en un incinerador para eliminar todos los restos de la anterior muestra y queda esterilizado y preparado para realizar la siguiente siembra.	 <p>ESTERILIZACIÓN DEL ASA</p>

[Fig. 4.3.g.](#) Proceso paso por paso que realiza Autoplak (pasos 19-20)

4.2. Características y especificaciones

4.2.1. Características Generales

- Dimensiones: 200cm alto x 185cm ancho x 85cm profundidad.
- Peso: 490 kg.
- Requerimientos eléctricos: 110-230 VAC, 50/60 Hz.
- Máximo consumo eléctrico de 1.000W.
- Máxima corriente de 5 Amps.
- Network Ethernet: 1GB.

- Incorpora ruedas.

4.2.2. Características técnicas

- Muestras:
 - Todo tipo de muestras microbiológicas.
 - Admite un amplio rango de contenedores con diámetros comprendidos entre 10 y 20mm sin necesidad de elementos de adaptación.
 - Capacidad de carga de 100 muestras.
 - Destapado y tapado automático para:
 - Tapones a presión.
 - Tapones roscados.
 - Agitación automática de la muestra.
- Inoculación:
 - Asas de siembra estándar metálicas esterilizables.
 - Admite hasta 4 volúmenes de inoculación a la vez.
 - No requiere de fungibles adicionales.
 - Realiza un control de la toma de la muestra.
- Sembrado:
 - Reproduce los patrones de sembrado más utilizados.
 - Permite personalizar el patrón de sembrado por el laboratorio.
- Esterilizado
 - Esteriliza el asa de siembra con un esterilizador por temperatura.
 - Control de la temperatura de esterilizado.
 - Medios de cultivo:
 - Realiza la siembra tanto sobre medios sólidos como líquidos.
 - Capacidad para 240 placas, ampliable a 480.
 - Capacidad para 6 medios de cultivo distintos, ampliable a 12.

- Clasificación de las placas sembradas de forma ordenada, como por ejemplo, por atmósfera de incubación.
- Siembra una media de 140 placas/hora (equivale a 25,71 s/placa).
- Trazabilidad:
 - Registro de todos los procesos realizados.
 - Impresión de la etiqueta personalizable en la base de la placa.
 - Comprobación del código impreso en la placa.
 - Permite registrar el lote de las placas.
 - Genera un documento que permite exportar los procesos realizados.

4.2.3. Usabilidad

- La interacción del usuario se realiza a través de una pantalla táctil.
- Fácil de usar, software muy intuitivo.

4.2.4. Equipamiento opcional

- Instalación de un SAI.
- Configurar las conexiones de la máquina para utilizar un software alternativo de LIS (*Laboratory Information System*).
- Extensión para la tinción de Gram.
- Siembra en medios líquidos de enriquecimiento.
- Comunicación con un sistema de incubación automático.
- Ampliación de la capacidad de placas:
 - Hasta 480 placas.
 - Hasta 12 medios distintos.

4.3. Aspectos legales

Hay que destacar que Autoplak se enmarca bajo la directiva europea de máquinas (no entra dentro de la clasificación de producto sanitario). Como la intención es lanzar Autoplak en el mercado europeo, será necesario el marcado CE del equipo y se deberán considerar las siguientes directivas:

- Directiva de Máquinas 2006/42/CE [2].
- Directiva BT 2006/95/CE [3].
- Directiva CEM 2004/108/CE [4]. Teniendo en cuenta que el equipo no está destinado a uso industrial ni a laboratorios o áreas de ensayo y medida con un entorno electromagnético controlado.
- Directiva Agentes Biológicos 2000/54/CE [5]. El objeto de la Directiva es la protección de los trabajadores contra los riesgos para su salud y su seguridad, así como la prevención de dichos riesgos, a los que están o pudieran estar expuestos en su trabajo por el hecho de una exposición a agentes biológicos.
- Directiva sobre residuos aparatos eléctricos y electrónicos 2002/96/CE [6]. La Directiva tiene por objetivo, en primer lugar, prevenir la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y, además, la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos, a fin de reducir su eliminación. Asimismo, se pretende mejorar el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, por ejemplo, los productores, distribuidores y consumidores, y, en particular, de aquellos agentes directamente implicados en el tratamiento de los residuos derivados de estos aparatos.
- Directiva sobre sustancias peligrosas 2011/65/EU [7]. La Directiva establece normas en materia de restricciones a la utilización de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) con el fin de contribuir a la protección de la salud humana y del medio ambiente, incluidas mediante la valorización y eliminación correctas, desde el punto de vista medioambiental, de los residuos de AEE.

Cada directiva lleva asociado un listado de normas armonizadas, cuyo cumplimiento certifica el cumplimiento de los requisitos de la directiva, y por tanto justifica el marcado CE. Así pues, las normas armonizadas aplicables son de obligado cumplimiento.

Además también se deberá tener en cuenta la Norma UNE-EN ISO 15189:2007 [8] que proporciona los requisitos relativos a la competencia y la calidad que son propios de los

laboratorios clínicos. Se deberá pues asegurar que Autoplak no pone en riesgo ningún requerimiento especificado por esta.

Para ratificar que Autoplak cumple con todas las normas aplicables se llevará a cabo una campaña de calificación dirigida por una empresa de certificación externa que se encargará de hacer los ensayos eléctricos y de compatibilidad electromagnética pertinentes para que se pueda realizar el marcaje CE de la máquina.

5. Componentes de Autoplak

Cada unidad de Autoplak está compuesta por un conjunto de componentes que interactúan entre sí para llevar a cabo la función final que es el sembrado de las placas Petri.

Los elementos que constituyen un Autoplak se pueden clasificar en mecanismos y componentes eléctricos.

5.1. Mecanismos

Se entiende por mecanismo todas las partes móviles constituidas principalmente por robots y actuadores que se encargan de mover los brazos mecánicos que realizan los diferentes procesos:

- Manipulador de tubos: es el mecanismo constituido por las pinzas que se encargan de coger los tubos con las muestras.
- Conjunto robot siembra: es el mecanismo encargado de introducir la asa de siembra en el tubo con la muestra y realizar el sembrado de la placa.
- Sistema de entrada y salida de placas: es el mecanismo que coge y almacena las placas de Petri.
- Manipulador de placas: es el mecanismo que recoge la placa de Petri y la acerca a la asa de siembra para que el robot de sembrado pueda realizar su operación.
- Conjunto agitador: es el mecanismo encargado de agitar el tubo con la muestra antes de que se le introduzca el asa de siembra.
- Útil de asa: es el mecanismo que se usa para cambiar el asa de siembra.
- Incinerador: es el mecanismo que se usa para limpiar el asa de siembra después de cada operación de sembrado.
- Impresora: es el mecanismo que se encarga de imprimir una etiqueta con la referencia de la muestra que ha sido sembrada y engancharla en la placa Petri.

A continuación la Fig. 5.1 muestra un esquema con todos los mecanismos y las partes y subconjuntos que los forman.

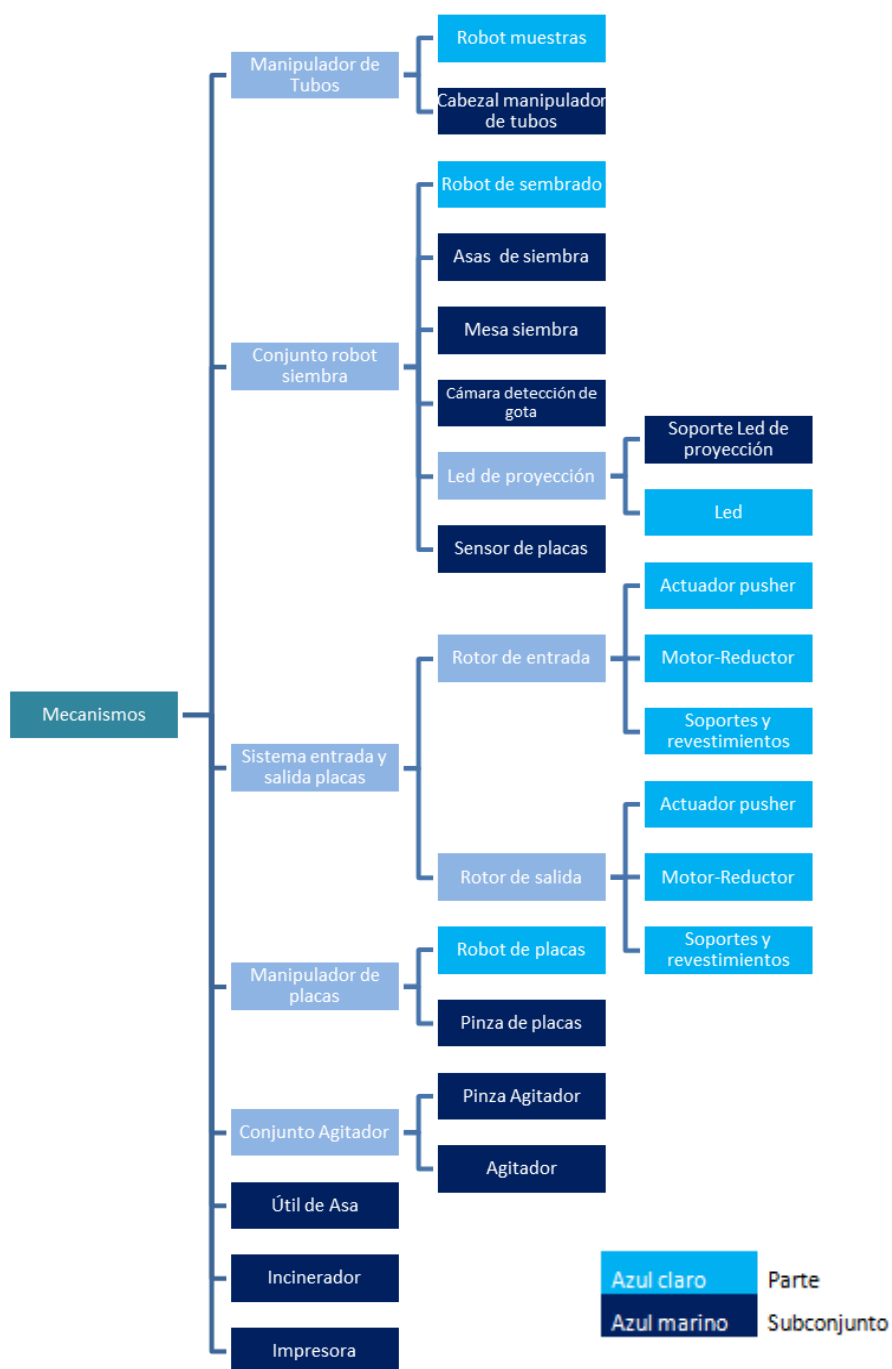


Fig. 5.1. Mecanismos de un ejemplar de Autoplak.

5.2. Componentes eléctricos

Los componentes eléctricos son los responsables de controlar y alimentar el resto de elementos:

- Caja eléctrica: contiene diferentes transformadores y fuentes de alimentación adicionales que adaptan el suministro eléctrico de la red a las necesidades de los mecanismos y componentes.
- Drivers: son los componentes programables que regulan el funcionamiento de los diferentes componentes y mecanismos.
- Panel de conexiones: es el panel de conexiones donde los diferentes cables que alimentan los mecanismo y componentes se conectan con las salidas de las fuentes de alimentación
- Botón de emergencia y entradas USB: este panel contiene un botón de emergencia que detiene todo el movimiento de la máquina y además tiene unas entradas USB para conectar un lápiz de memoria en caso que se requiera introducir información en la máquina de Autoplak.
- Sistema de Ventilación: el sistema de ventilación sirve para refrigerar los componentes de la máquina y está controlado electrónicamente.
- Iluminación interior: es el sistema de luces que ilumina el interior de la máquina.
- Conjunto Semáforo: es un conjunto de leds que mediante una codificación de colores indica si la máquina está en funcionamiento o parada.

A continuación la Fig. 5.2 muestra un esquema con todos los componentes eléctricos explicados.

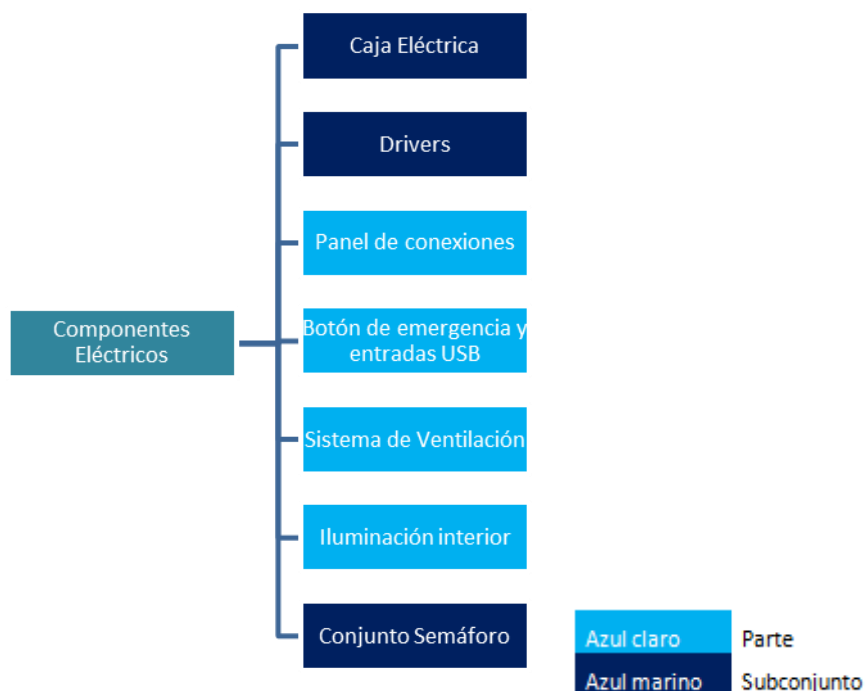


Fig. 5.2. Componentes eléctricos de un ejemplar de Autoplak.

5.3. Ensamblaje de los subconjuntos de un ejemplar de Autoplak

Respecto al ensamblaje de los diferentes subconjuntos, se adquieren las diferentes piezas y se realiza en las instalaciones de NTE-SENER en todos los casos excepto en los siguientes:

5.3.1. Caja Eléctrica

El montaje del subconjunto de la Caja Eléctrica es externo y se realiza en dos fases. Primero NTE-SENER debe encargarse de adquirir la carcasa exterior (el armario) para enviársela a otro proveedor para que este la mecanice y haga los agujeros en los paneles. Después se envía la carcasa con los paneles mecanizados y todos los componentes eléctricos de la caja a otro proveedor distinto para que realice el ensamblaje.

Una vez NTE-SENER recibe la caja montada realiza una inspección en la que se comprueba que el aspecto general y el de todos los componentes sea el adecuado y además se verifican todas las conexiones. La Fig. 5.3 refleja las etapas del proceso:

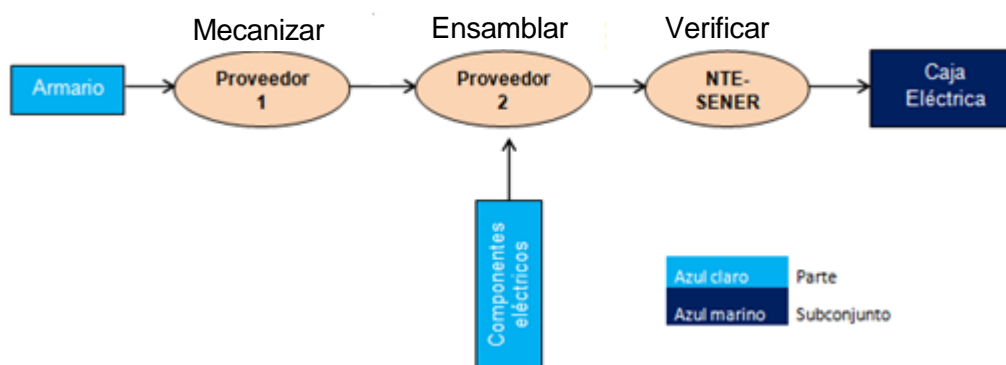


Fig. 5.3. Etapas de fabricación de un subconjunto Caja Eléctrica.

5.3.2. Dispositivos controladores

Autoplak requiere de la instalación de múltiples dispositivos controladores, (normalmente conocidos como *drivers*). Sin embargo, antes de instalarlos en la máquina estos se deben ensamblar en una placa de circuito impreso (en inglés, *P.C.B.*) y un soporte. De realizar este proceso se encarga una empresa externa a la que NTE-SENER debe encargarse de suministrar todas las partes para que puedan realizar el montaje. Así pues, el proceso de ensamblaje de un *driver* sigue el siguiente esquema (Fig. 5.4.):

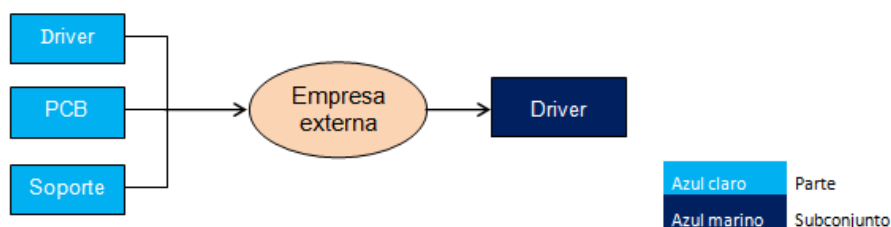


Fig. 5.4. Etapas de fabricación de un subconjunto Driver.

6. Proceso de fabricación

6.1. Descripción del proceso

Para realizar el ensamblaje de una unidad de Autoplak se tienen que montar todos los diferentes mecanismos y componentes eléctricos comentados en el apartado anterior en una estructura de acero inoxidable AISI 304.

Lo primero que se ensambla son los mecanismos de los brazos robóticos ya que estos son los que ocupan prácticamente todo el espacio interior de la máquina y son más delicados (tareas 1-12). Posteriormente se preparan las canaletas por donde se deberá rutar todo el cableado de la máquina y se hace pasar entre ellas todo el cableado de la máquina (tareas 13-16).

Por otro lado se tienen que ir preparando los diferentes subconjuntos que se pueden ir ensamblando en la unidad de Autoplak junto con los motores reductores que sirven para regular el movimiento de los actuadores de los robots (tareas 17-27).

Una vez están todos los subconjuntos ensamblados en la unidad (tareas 28-43), se pueden colocar todos los paneles de recubrimiento exterior junto con las cantoneras y embellecedores para mejorar el aspecto visual de la máquina (tareas 44-49).

Por último, se instala el software controlador de la máquina y se realiza la calibración y testeo de la unidad (tareas 50-54).

Este proceso que se acaba de explicar puede organizarse en las tareas definidas en la Tab. 6.1, donde también se indica el tiempo necesario para realizar cada una de ellas y el número de recursos necesario para realizarla. Las únicas restricciones a tener en cuenta es que las tareas marcadas con un * se deben realizar en presencia de un operario eléctrico más especializado que sepa conectar y testear la máquina:

Nº	Descripción tarea	Tiempo [min]	Recursos [nº operarios]
1	Realizar control dimensional de la estructura y asegurar que los rotores están bien montados.	30	1
2	Montar los cajones y revisar la altura de estos y los racks.	150	1
3	Montar sobre la estructura el robot cartesiano de siembra.	30	2
4	Montar la guía pasiva del cartesiano de siembra.	15	1
5	Montar sobre la estructura el robot cartesiano de muestras.	30	2
6	Montar la guía pasiva del cartesiano de muestras.	15	1
7	Montar sobre la estructura el robot transporte de placas.	45	2
8	Hacer las lengüetas de los pushers.	180	1

9	Montar sobre la estructura el pusher izquierdo/entrada.	10	1
10	Montar la lengüeta del pusher izquierdo.	10	1
11	Montar sobre la estructura el pusher derecho/salida.	10	1
12	Montar la lengüeta del pusher derecho.	10	1
13	Cortar canaletas a las medidas correspondientes.	180	1
14	Instalar canaletas en la estructura con adhesivo.	60	1
15	Esperar 8 horas para curado.	480	0
16	Rutar cableado.	480	1
17	Montar subconjunto Cabezal manipulador de tubos.	10	1
18	Montar subconjunto Asas de siembra.	10	1
19	Montar subconjunto Mesa de siembra.	10	1
20	Montar subconjunto Cámara detección de gota.	10	1
21	Montar subconjunto Sensor de placas.	10	1
22	Montar subconjunto Led de proyección.	10	1
23	Montar subconjunto Pinza de placas.	10	1
24	Montar subconjunto Pinza agitador.	10	1
25	Montar subconjunto Agitador.	30	1
26	Montar subconjunto Incinerador.	15	1
27	Montar subconjunto Impresora.	30	1
28	Montar revestimientos en los rotores de entrada y salida.	240	1
29	Montar motor-reductor del rotor de entrada.	120	1
30	Montar motor-reductor del rotor de salida.	120	1
31	Montar sensores de ultrasonidos en los rotores.	30	1
32	Montar sensores de final de carrera en los rotores.	15	1
33	Montar Pantalla.	120	1
34	Montar Caja eléctrica.	60	1
35	Montar Drivers.	180	1
36	Montar Panel de Conexiones.	30	1
37	Montar Botón de emergencia y entradas USB.	15	1
38	Montar subconjunto Semáforo.	10	1
39	Montar Sistema de ventilación.	15	1
40	Montar sistema de Iluminación interna.	15	1
41	Realizar calibración mecánica.	180	1
42	Montar mecanismo de bloqueo de los cajones.	60	1
43	Montar y ajustar los soportes del carenado y las cantoneras.	450	1
44	Montar chapas.	60	1
45	Montar paneles de los laterales y de la parte posterior.	15	1
46	Montar mecanismos puertas.	60	1
47	Montar los paneles frontales y de los cajones.	15	1
48	Ajustar las puertas y poner sus paneles.	120	1
49	Etiquetado.	30	1
50	Instalación del software.	90	1*
51	Calibración del equipo.	1920	1*
52	Ensayo funcional reducido.	90	1*
53	Ensayo eléctrico de aceptación.	120	1*
54	Ensayo Running e Inspección final	390	1*

Tab. 6.1. Tiempo y recursos necesarios para llevar a cabo las tareas.

A continuación en la Tab. 6.2, se indica el tiempo y recursos necesarios para ensamblar cada uno de los subconjuntos. Se utilizará numeración con un símbolo de apóstrofe para

ordenar las tareas de ensamblaje de los subconjuntos y además el número hará referencia a la tarea en la que el subconjunto se monta en Autoplak. Por ejemplo, montar el subconjunto cabezal manipulador de tubos en la unidad de Autoplak se realiza en la tarea número 17, entonces la tarea de ensamblar el subconjunto en si será numerada con un 17':

Nº	Subconjunto	Tiempo [min]	Recursos [nº operarios]
17'	Ensamblar el Cabezal manipulador de tubos.	180	1
18'	Ensamblar el Asas de siembra	60	1
19'	Ensamblar la Mesa de siembra.	60	1
20'	Ensamblar la Cámara detección de gota.	20	1
21'	Ensamblar el Sensor de placas.	10	1
22'	Ensamblar el Soporte del Led de proyección.	5	1
23'	Ensamblar la Pinza de placas.	20	1
24'	Ensamblar la Pinza agitador.	15	1
25'	Ensamblar el Agitador.	60	1
26'	Ensamblar el Incinerador.	90	1
27'	Ensamblar la Impresora.	60	1
38'	Ensamblar el Semáforo.	20	1
55'	Ensamblar el Útil de Asas.	60	1

Tab. 6.2. Tiempo y recursos necesarios para el montaje de los subconjuntos.

Hay que resaltar que el subconjunto Útil de Asas es un poco diferente pues no se tiene que montar en la máquina como el resto (de ahí que esté numerado con un 55' y no haya ninguna tarea 55). Se trata de un utensilio que se entrega con la máquina y que se utiliza para cambiar las asas de siembra. Por eso no se ha definido ninguna tarea que corresponda a ensamblar este subconjunto en la máquina pero en cambio sí se debe tener en cuenta el tiempo que se tarda en ensamblar el subconjunto en sí.

Las tareas 50, 51, 52, 53 y 54 corresponden a la calibración y ensayos finales que se deben realizar a cada unidad antes de ser entregada. No son tareas propias de fabricación o de ensamblaje y se realizan en una zona especialmente habilitada diferente de la sala donde se lleva a cabo el proceso de fabricación.

A continuación, en la Fig. 6.1, se va a representar el esquema del proceso de fabricación de una unidad en forma de diagrama de flujo que permite ver de una forma más visual como se deben ir realizando las tareas definidas previamente:

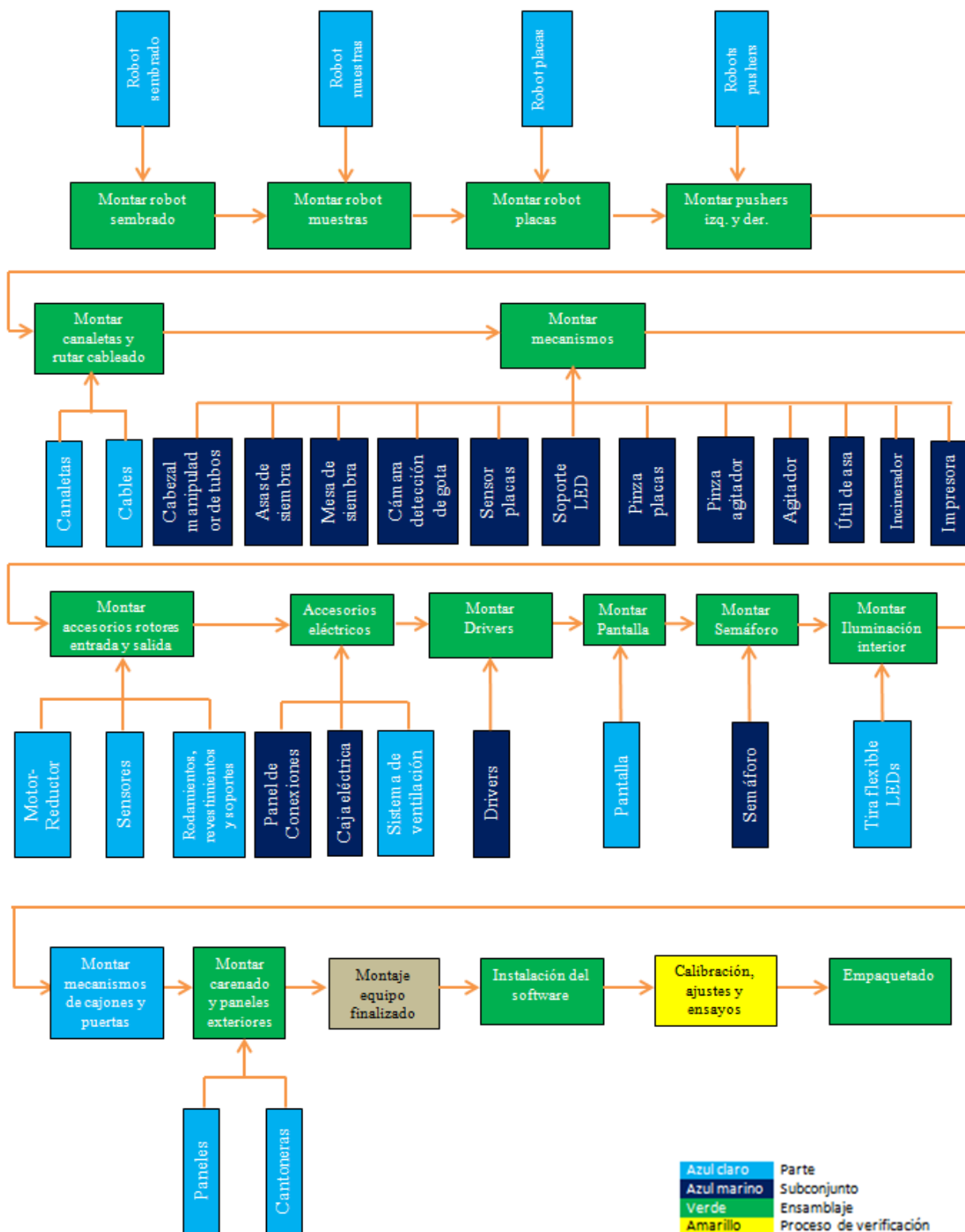


Fig. 6.1. Proceso de montaje de un ejemplar de Autoplak.

6.2. Metodología de Producción

Existen diferentes enfoques estratégicos a la hora de organizar un sistema de producción. Estos determinan la organización óptima a seguir para la generación de los bienes. A la hora de decidir qué estrategia debe seguir un sistema con el objetivo de optimizar los recursos, se tienen que valorar básicamente dos factores: el volumen de producción y la variedad de los productos a generar.

6.2.1. Producción orientada a proceso

El enfoque que da importancia a la organización según el proceso se denomina *Job-Shop*. Este tipo de procesos de fabricación se caracterizan básicamente porque los lotes de producción avanzan por el sistema productivo sobre la base de procesamiento, es decir, los productos tienen una relación de procesos y secuencias particulares, un lote de producción puede atravesar muchos talleres o especializaciones de manufactura antes de ser completado e incluso puede volver a procesos en una estación en la que ya ha estado. Esto se debe a que la mayoría de las operaciones relacionadas con la producción suelen ser de fabricación más que de ensamblaje, lo cual distingue particularmente su enfoque de un enfoque repetitivo tipo línea de producción o *Flow-Shop*. Este enfoque es conveniente en sistemas con bajos volúmenes de producción pero con una gran variedad en la oferta de productos, que normalmente son elaborados bajo pedido del cliente [10].

Típicamente este sistema es utilizado por industrias que fabrican productos personalizados en lotes pequeños como podría ser un taller artesanal o una carpintería. Es decir, empresas que en lugar de estar enfocadas a producir grandes volúmenes y a la estandarización, producen poco y de manera personalizada. Es por eso que en este tipo de sistemas, de existir maquinaria esta acostumbra a ser de uso general y los trabajadores son altamente cualificados en los procesos de elaboración y son capaces de dominar prácticamente la totalidad del proceso del sistema [10].

Las ventajas de este enfoque son [9]:

- La principal ventaja del Job Shop consiste en la flexibilidad de su producción, es decir, el sistema puede hacer frente a situaciones de demanda inusuales dado que los trabajadores son polivalentes y están familiarizados con la mayoría de procesos.
- Baja inversión en equipos ya que estos acostumbran a ser de uso general.

Sin embargo como es natural también tiene algunas desventajas [9]:

- Altas pérdidas de tiempo en preparación y acondicionamiento debidas a la personalización de los productos a realizar.

- La alta variabilidad de la secuencia de los procesos dificulta la programación de los trabajos y afecta la fiabilidad de las estimaciones de los tiempos de proceso lo que disminuye la capacidad de producción.

6.2.2. Producción orientada a producto

La característica principal de esta metodología conocida como *Flow-Shop* es que sus productos tienen una relación de procesos y secuencias idénticas. El *Flow-Shop* es conocido también como enfoque estratégico repetitivo y se aplica en organizaciones con una flexibilidad media de referencias de productos distintas y un nivel medio de volúmenes de fabricación. A su vez, se basa en el ensamblaje de módulos (elementos a ensamblar que son comunes en diversas referencias de productos) más que de procesos de fabricación. Estos módulos avanzan en el sistema basados en un proceso continuo. Las tareas a realizar por los trabajadores son más simples y más repetitivas aunque la maquinaria a utilizar tiende a ser más compleja. En este caso la producción es orientada al pedido, y si se llegaran a presentar algunos vacíos de programación, mediante la realización de un análisis previo, estos se podrían aprovechar para realizar tareas como alimentar el stock de subensamblajes o para realizar órdenes de productos con demandas más continuas y guardarlos en stock [10].

Organizaciones como por ejemplo una fábrica de muebles modulares o de comida preparada se basan en este tipo de metodología para producir los bienes.

Las ventajas de este enfoque son [9]:

- Ventajas económicas al producir a media escala al llevar un proceso continuo de programación y fabricación de módulos.
- Permite cierta personalización de los productos.
- Fácil programación de los trabajos y estimación de los tiempos de proceso.
- Mayor rapidez de respuesta en comparación a un proceso *Job-Shop*.

Y las desventajas de este enfoque son [9]:

- El sistema es poco flexible.
- No todos los productos son susceptibles de una producción modular.
- Puede requerir de una fuerte inversión en maquinaria en caso de querer automatizar alguna parte del proceso.

6.2.3. Producción en cadena

La idea principal de la producción en cadena es producir muchas unidades de manera rápida y ágil mediante la organización de una línea de ensamblaje en la que el producto va avanzando en una cadena de montaje.

Normalmente las operaciones a llevar a cabo por los operarios son tareas no muy complejas, se busca que las operaciones a realizar por los operarios sean concisas y estén bien definidas. Típicamente en este tipo de sistema de producción se busca que la salida de unidades de la línea de montaje sea constante y para esto los tiempos de las operaciones deben ser estar bien ajustados y calculados. Tener que realizar tareas que requieran de una previa toma de medidas o de una comparación contra un plano son más susceptibles a hacer que los tiempos establecidos no se respeten, poniendo así en riesgo el ritmo de producción. El hecho que las tareas sean sencillas también provoca que este tipo de sistemas tiendan a la automatización, pudiendo constituir así grandes cadenas de montaje donde las operaciones son realizadas por robots y son capaces de producir cantidades en masa [11].

Las principales ventajas que ofrece este tipo de metodología son [9]:

- Ventajas económicas al producir a gran escala y llevar un proceso continuo de programación y fabricación.
- Alta capacidad de optimizarse con el equilibrado de líneas. Los tiempos muertos de los operarios pueden ser prácticamente reducidos a cero.
- Al ser un proceso repetitivo para los trabajadores el conocimiento de la función a desempeñar se alcanza con mayor rapidez.

Por otro lado, las desventajas de esta metodología son [9]:

- Poca flexibilidad. Una vez se ha diseñado una línea es difícil modificarla ya que introducir una variación significa volver a ajustar toda la cadena. Además, querer fabricar diferentes tipos de unidades hace que el proceso pierda mucha eficiencia ya que se deben introducir cambios en el proceso de montaje y ajustes en las máquinas en caso de automatización.
- Como se ha comentado, normalmente los procesos a llevar a cabo en este tipo de sistemas de producción pueden ser automatizados. Sin embargo, muchas veces querer hacerlo supone tener que realizar una fuerte inversión.

6.3. Elección de la metodología

El sistema que se está estudiando tiene las siguientes características principales:

- No hay variabilidad de productos.
- La demanda se puede considerar medio-alta y uniforme.
- Las operaciones relacionadas con la producción son de ensamblaje y sencillas aunque no de fácil automatización.

Como se puede ver, tiene los principales atributos del *Flow-Shop* e incluso se podría llegar a pensar en la opción de organizar una línea de producción.

Dada la previsión de demanda realizada se espera que esta vaya aumentando con los años hasta llegar a demandas altas teniendo en cuenta el tipo de producto del que se está hablando, sin embargo no se va a llegar al punto de tener que producir en masa.

Sí que es verdad por eso que siempre se debe producir el mismo producto (sí que se ofrece la opción de añadir algún componente adicional pero el impacto que tiene en el proceso es despreciable) y que las operaciones del proceso de montaje corresponden a tareas de ensamblaje, no de fabricación, así, para sincronizar las estaciones consecutivas de trabajo en que se dividirá el proceso productivo, dado que el flujo de materiales es de tipo *Flow-Shop*, montar una pseudo línea de producción permitiría poder producir el producto de forma ordenada y tener una salida de unidades constante y regulada (ideal para hacer frente a demandas uniformes). Sin embargo, dada la magnitud de la demanda y la naturaleza de Autoplak (una máquina grande con los componentes de precisión) plantear la instalación de un proceso de automatización no tiene sentido ya que el coste de implantación sería altísimo y no saldría rentable.

Parece entonces que organizar una pseudo línea de producción en la que se va a seguir la filosofía de una cadena de montaje pero en la que todas las operaciones van ser llevadas a cabo por operarios sería la mejor opción. Además, se cumplen todos los requisitos básicos para el funcionamiento adecuado de un proceso de producción continua [9]:

- Demanda lo más uniforme posible. Los picos y descensos de demanda obligan a modificar el plan de producción y el ritmo de las operaciones implicando un desaprovechamiento de la capacidad productiva. En el sistema estudiado las previsiones indican una demanda bastante uniforme.
- Producto estandarizado. Este tipo de metodología es especialmente rígida e inflexible por lo que se refiere a este punto. Introducir mucha variabilidad en los

productos a fabricar resta mucha eficiencia al proceso. La diversidad en los productos finales solo puede ser adquirida mediante variaciones en los acabados finales y en pequeños detalles, como en el caso de Autoplak.

- Todas las operaciones referentes a la realización de un trabajo han de estar bien detalladas y definidas. Como se ha podido comprobar en los puntos anteriores, el proceso de ensamblaje de Autoplak se ha detallado mucho y se ha subdividido en tareas sencillas y bien definidas.

Queda claro entonces que se va a tener que organizar una línea de montaje considerando que el flujo en el sistema es de tipo *Flow-Shop*. Para llevar a cabo la producción de la mejor manera posible se dividirán las tareas entre los operarios en diferentes etapas y se sincronizarán los tiempos de trabajo en cada una de estas para minimizar los tiempos muertos. Esto conduce a los principios de organización de una línea de producción, y en particular, a resolver el problema de equilibrado de una línea de producción.

Dado que se va optar por seguir esta metodología también convendría valorar los siguientes aspectos referentes a los sistemas de producción continua [9]:

- Los materiales deben ser entregados a tiempo. Los retrasos en los suministros tienen efectos muy negativos en estos sistemas pudiendo llegar a provocar una parada de toda la línea. No obstante, dado el carácter uniforme de estos, la planificación de los materiales puede ser realizada con mucha precisión.
- Todas las etapas del proceso de producción deben estar equilibradas para evitar colas y líneas de espera. Como se verá en el siguiente apartado (6.2.1. Equilibrado de línea) se va tratar de equilibrar una línea de montaje para garantizar el correcto funcionamiento de la línea de producción de Autoplak.

6.3.1. Equilibrado de línea

A la hora de organizar una línea de producción es muy importante que esta sea equilibrada. El objetivo fundamental del equilibrado de línea corresponde a igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones del proceso.

Para empezar, es necesario realizar un diagrama de precedencias de las tareas que proporcionará el orden en que se pueden ir realizando estas. La Fig.6.2 muestra una visión general de todo el grafo:

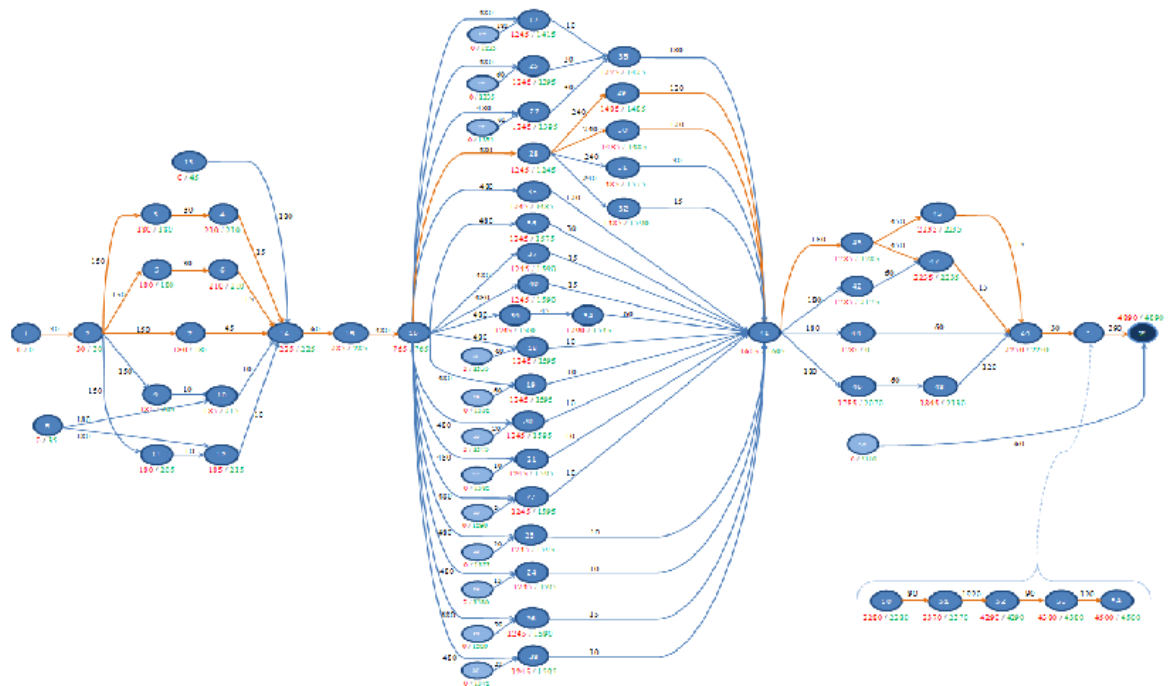


Fig. 6.2. Visión general del diagrama de precedencias de las tareas.

Las siguientes Fig.6.3, Fig.6.4 y Fig.6.5 muestran el detalle de todas las partes del diagrama.

La primera, la Fig.6.3 muestra desde la tarea número 1 hasta la 15, que corresponden a las tareas de montaje de los mecanismos de los robots y la colocación de las canaletas de los cables.

La siguiente, la Fig.6.4 muestra desde la tarea 15 (que engancha con la anterior figura) hasta la tarea número 41, que corresponden a la preparación y montaje de todos los subconjuntos y motores.

Y para terminar, la Fig. 6.5 corresponde al detalle del diagrama desde la tarea 41 (engancha con la anterior imagen) hasta la número 54, que son las tareas que hacen referencia a la colocación de los paneles de recubrimiento exterior y las calibraciones de la unidad.

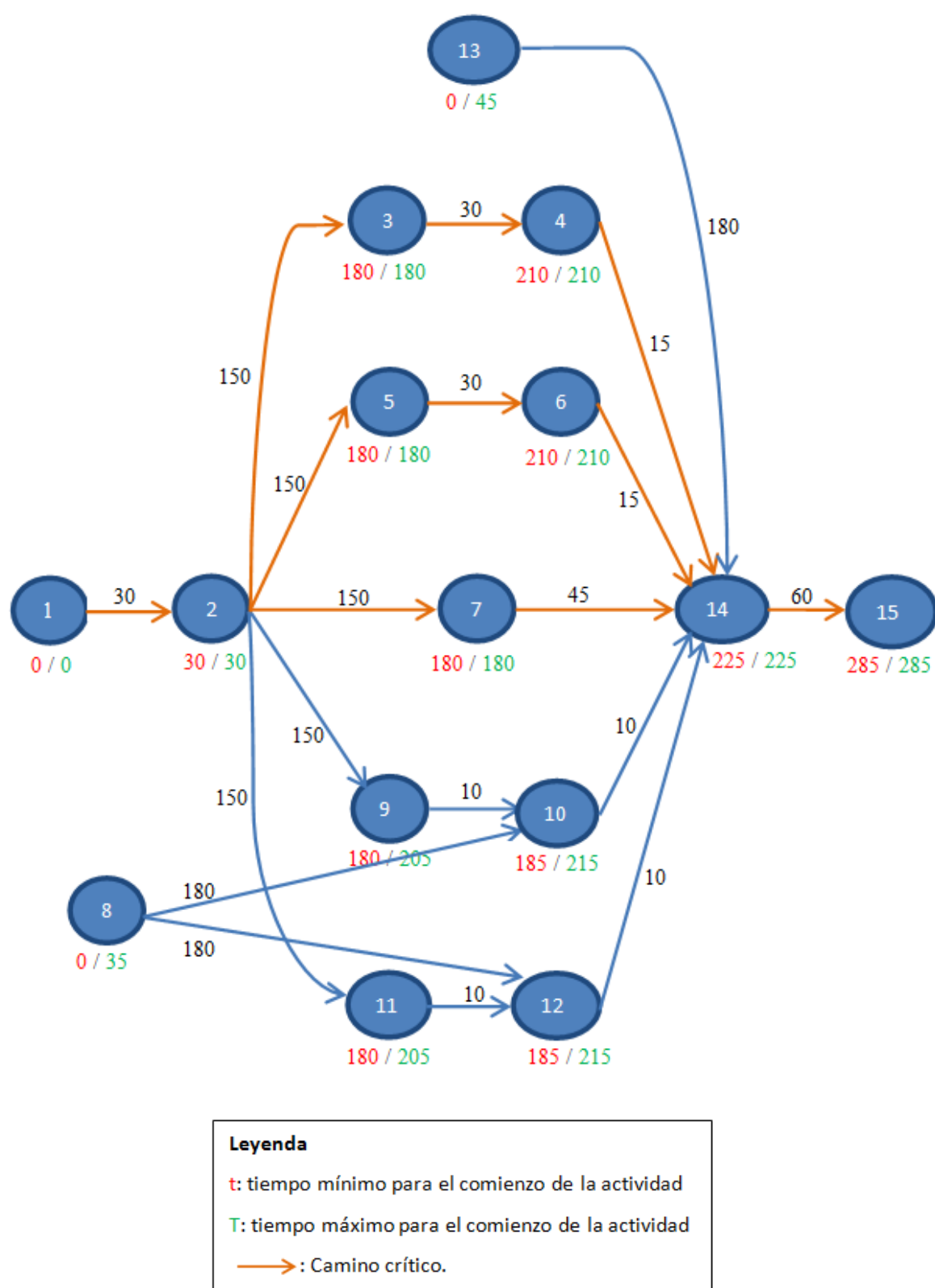


Fig. 6.3. Detalle de las tareas 1-15 del diagrama de precedencias.

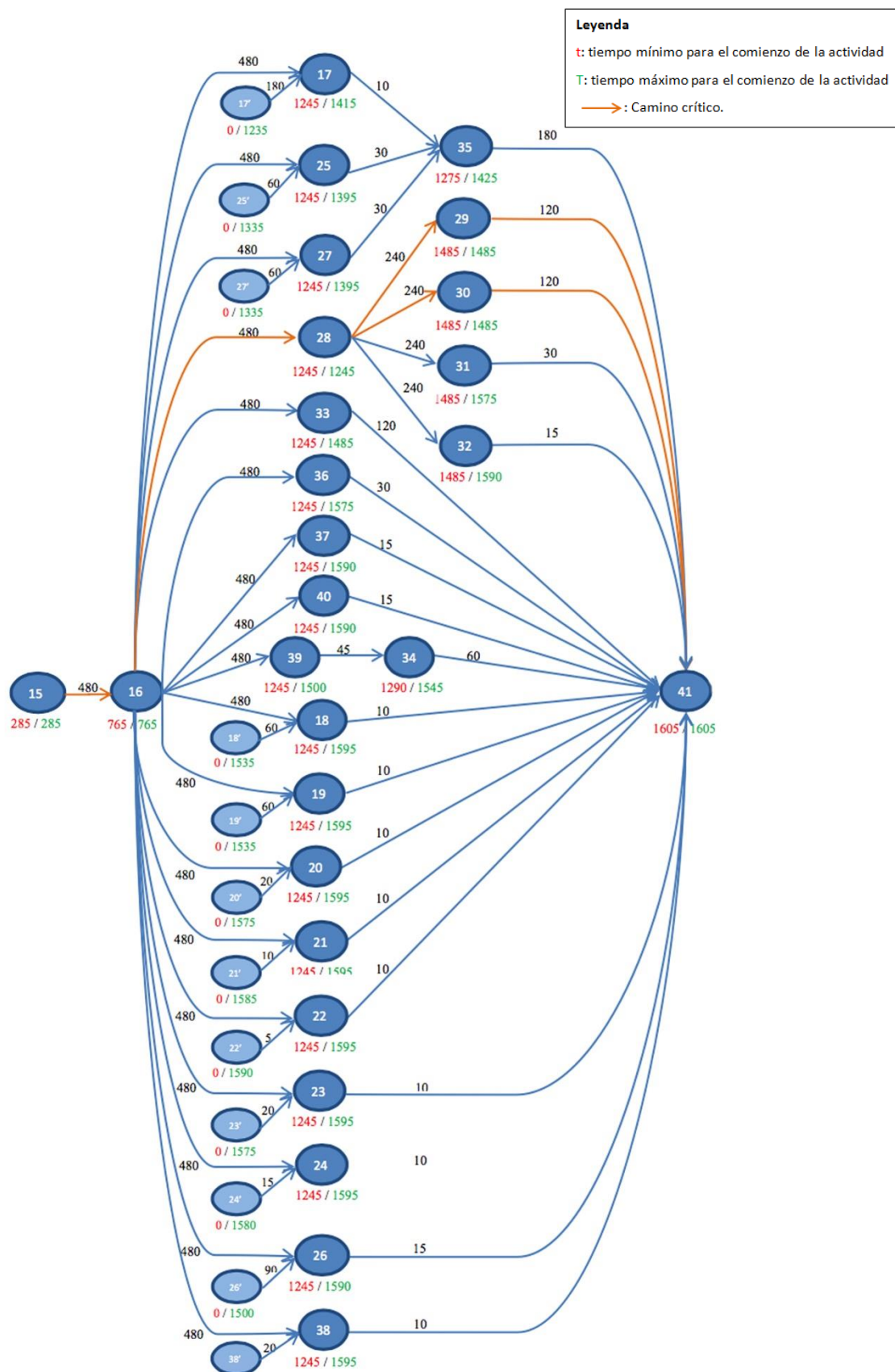
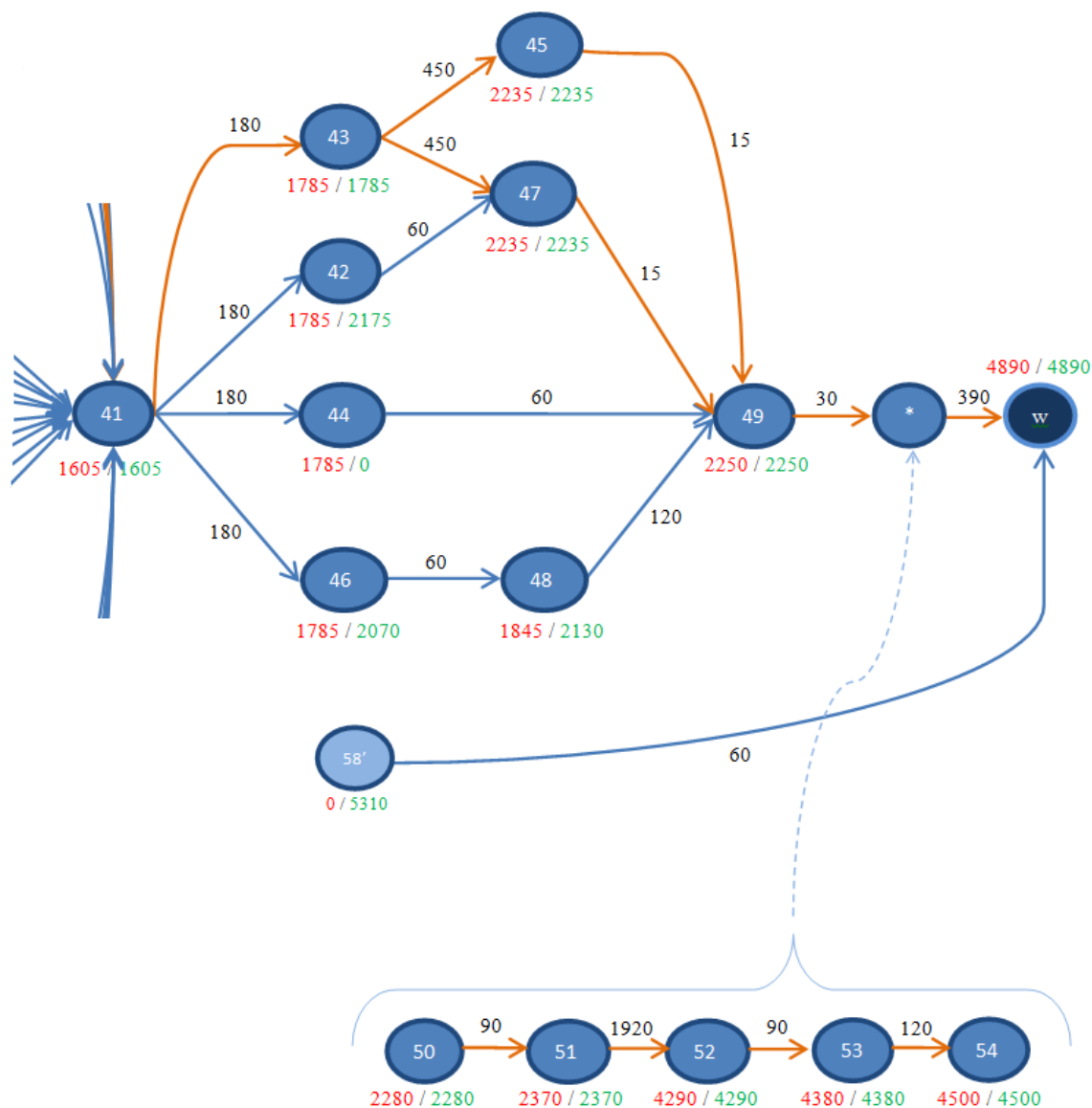


Fig. 6.4. Detalle de las tareas 15-41 del diagrama de precedencias.



Leyenda

t: tiempo mínimo para el comienzo de la actividad

T: tiempo máximo para el comienzo de la actividad

—> : Camino crítico.

Fig. 6.5. Detalle de las tareas 41-54 del diagrama de precedencias.

Una vez realizado el diagrama de precedencias de las tareas se puede proceder a aplicar algún método que nos ayude a equilibrar la línea, es decir, asignar las tareas a las estaciones de trabajo. Existen diversas heurísticas que permiten realizar esta asignación, sin embargo, la que se va a utilizar es la de Helgeson y Bernie. Este procedimiento consiste en estimar el peso posicional de cada tarea como la suma de su tiempo más los de aquellas que la siguen y ordenarlas por orden decreciente. Entonces se van asignando las tareas a las estaciones de acuerdo al peso posicional, cuidando de no rebasar el tiempo de ciclo y respetando las precedencias.

A la hora de equilibrar las estaciones además se tendrán en cuenta las indicaciones explicadas a continuación. Por ejemplo, en caso de empate de peso entre tareas a la hora de realizar la asignación de estas se podrán valorar los siguientes puntos:

- La tarea 15 (Esperar 8 horas para curado) no requiere de ningún operario pero será igualmente asignada a una estación. En la práctica esto significaría tener un operario parado durante los 480 minutos que esta tarea supone. Para evitar esta situación, el operario al que le sea asignada, durante el tiempo de esta tarea se dedicará a ayudar al operario al que le hayan sido asignadas las tareas 3, 5 y 7 (que corresponden al montaje de los robots) y que requieren de la presencia de 2 operarios. Como además le sobrará más tiempo, este lo podrá dedicar a realizar los transportes de componentes y preparación de materias de las demás estaciones.
- Es deseable que sea el mismo operario quien monte los drivers (35) y los motores-reductores de los rotores (29, 30) puesto que estos elementos provienen del mismo proveedor y se parecen mucho.
- Tiene sentido que el operario encargado de ensamblar la Cámara de detección de gota (20') sea el mismo que ensambla el Soporte del Led de proyección (22') y que las operaciones de montaje de estos subconjuntos (20 y 22) también las realice el mismo operario puesto que son dos elementos muy próximos entre sí y que al interaccionar tanto, comparten varias conexiones.
- Es lógico que el mismo operario se encargue de instalar los dos tipos de sensores que hay que montar en los rotores (tareas 31 y 32) ya que son elementos próximos que también comparten conexiones.
- El subconjunto del Cabezal manipulador de tubos es el más delicado, por eso está bien que si no es posible ensamblarlo (17') y montarlo (17) en la misma estación, como mínimo se haga en estaciones consecutivas para evitar tenerlo que mover o transportarlo mucho.

- Preferiblemente si un operario monta un submontaje él mismo debería encargarse de montarlo en Autoplak. Si se da el caso que el ensamblaje de un subconjunto y el montaje de este se deban realizar en estaciones distintas, se puede generar confusión en las líneas con mayor número de estaciones ya que los operarios se tendrán que preocupar de quién debe entregar cada submontaje a quién. Entonces si dada la asignación este hecho es inevitable, se intentará que si un operario se encarga de ensamblar varios submontajes, sea otro operario quien los monte todos, es decir, que si el operario número 1 debe ensamblar 4 submontajes, que sea el operario 2 el que monte estos 4 en Autoplak, que no se dé la situación de que de estos 4 submontajes que ha hecho el operario 1, dos tengan que ir a un operario y los otros dos a otro. De esta manera todo lo que un operario ensamble se lo pasará directamente a otro.

Las tareas correspondientes a la calibración y pruebas de la máquina (tareas 50-54) que en total tienen una duración de 2610min, que equivale a 5,44 días a 8h/día, no se tendrán en cuenta al realizar el equilibrado de la línea, ya que como se ha comentado antes es un proceso completamente a parte del ensamblaje de la máquina.

Se procede pues a calcular los pesos posicionales de todas las tareas que deberán ser asignadas a una estación de trabajo y se presentan en la Tab. 6.5:

Tarea _i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Peso w _i	3520	3490	3210	3180	3210	3180	3210	3365	3185	3175	3185	3175	3345

Tarea _i	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Peso w _i	3165	3105	2625	1180	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1200	1005

Tarea _i	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Peso w _i	1200	1515	1110	1110	1020	1005	1110	1050	1170	1020	1005	1000	1095

Tarea_i	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Peso w_i	1005	990	105	510	90	45	210	45	150	30

Tarea_i	17'	18'	19'	20'	21'	22'	23'	24'	25'	26'	27'	38'	58'
Peso w_i	1360	1060	1060	1020	1010	1005	1020	1015	1260	1095	1260	1020	60

Tab. 6.3. Pesos posicionales de las tareas según el algoritmo de Helgeson y Birnie.

A continuación se va a realizar una evaluación de cómo se debería organizar la línea de montaje según el número de estaciones.

6.3.2. Evaluación de una línea con 3 Estaciones

Primero se calcula el tiempo de ciclo (de aquí en adelante abreviado como TC) que es el tiempo promedio entre la producción de dos unidades consecutivas. Por tanto, es el tiempo de que cada operario dispone para realizar las operaciones que le han sido asignadas. Para ello se divide el tiempo total de producción de una unidad entre el número total de estaciones:

$$\sum_{i=1}^n d_i = 4540 \text{ min} \rightarrow TC \geq \frac{4540}{3} = 1513,33 \text{ min}$$

Como la duración de las tareas se ha estimado en tiempos múltiplos de 5 minutos se redondea a la alza el resultado obtenido:

$$TC=1515\text{min (3,16días a 8h/día)}$$

Se procede entonces con la asignación de las tareas a las estaciones de trabajo por orden decreciente de peso y respetando las precedencias:

Estación E(1): 1, 2, 8, 13, 3, 5, 7, 9, 11, 4, 6, 10, 12, 14, 15, 17', 25', 23' (1515min)

Estación E(2): 16, 28, 27', 25, 27, 17, 33, 26', 18', 19', 34, 20', 38', 31, 36, 24', 21', 22', 32, 37, 40, 26, 18, 19, 55' (1510min)

Estación E(3): 35, 29, 30, 39, 20, 21, 22, 23, 24, 38, 41, 43, 46, 48, 42, 44, 45, 47, 49 (1515min)

Una vez realizada la asignación se puede calcular la eficiencia de la línea dividiendo el tiempo de trabajo real de cada estación entre el tiempo de ciclo multiplicado por el número de estaciones. De esta manera se puede evaluar el impacto de los tiempos muertos existentes con la asignación realizada:

$$\text{Eficiencia } e(3) = \frac{1515 + 1510 + 1515}{3 \cdot 1515} \cdot 100 = 99,89\%$$

Esta asignación, además de tener una eficiencia muy alta, consigue respetar todas las indicaciones anteriormente comentadas. Sin embargo, esta asignación presenta el inconveniente de que el operario de la Estación E(1) es responsable tanto de las tareas que requieren de 2 operarios como de la tarea que no requiere de ninguno, y por tanto esta solución no es viable. Para evitar esta situación se tiene que aumentar el tiempo de ciclo hasta TC=1555min (3,24días a 8h/día) y volver a realizar la asignación:

Estación E(1): 1, 2, 8, 13, 3, 5, 7, 9, 11, 4, 6, 10, 12, 14, 17', 25', 27', 26', 18', 19', 20', 23', 38', 24', 21', 22', 55' (1435min)

Estación E(2): 15, 16, 28, 25, 27, 17, 33, 34, 31, 36, 32, 37, 40 (1555min)

Estación E(3): 35, 29, 30, 39, 26, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 38, 41, 43, 46, 48, 42, 44, 45, 47, 49 (1550min)

$$\text{Eficiencia } e(3) = \frac{1435 + 1555 + 1550}{3 \cdot 1555} \cdot 100 = 97,32\%$$

Se pasa la tarea 15 a la Estación E(2), el montaje de los subconjuntos a la Estación E(1) y algunas tareas a la E(3) para compensar los tiempos lo máximo posible. Sin embargo, en esta asignación el operario de la Estación E(1) tiene bastante tiempo muerto.

6.3.3. Evaluación de una línea con 4 Estaciones

Se aplica el mismo procedimiento explicado en el apartado anterior y se calcula el tiempo de ciclo (TC):

$$\sum_{i=1}^n d_i = 4540 \text{ min} \rightarrow TC \geq \frac{4540}{4} = 1135 \text{ min}$$

Como este ya es múltiplo de 5 se establece TC=1135min (2,36días a 8h/día).

Se procede con la asignación:

Estación E(1): 1, 2, 8, 13, 3, 5, 7, 9, 11, 4, 6, 10, 12, 14, 17', 25', 27', 18' (1135min)

Estación E(2): 15, 16, 25, 27, 17, 26', 24' (1135min)

Estación E(3): 28, 35, 29, 30, 33, 39, 19', 34, 31, 36, 20', 23', 38', 21', 22', 32, 26, 37, 24 (1135min)

Estación E(4): 40, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 38, 41, 43, 46, 48, 42, 44, 45, 47, 55', 49 (1135min)

Y finalmente se calcula la eficiencia:

$$Eficiencia\ e(4) = \frac{1135 + 1135 + 1135 + 1135}{4 \cdot 1135} \cdot 100 = 100,00\%$$

Se puede ver como en este caso la línea conseguida no tiene tiempos muertos y además se respetan todas las indicaciones comentadas.

6.3.4. Evaluación de una línea con 5 Estaciones

Se aplica el mismo procedimiento explicado en los apartados anteriores y se calcula el tiempo de ciclo (TC):

$$\sum_{i=1}^n d_i = 4540\ min \rightarrow TC \geq \frac{4540}{5} = 908\ min$$

Sin embargo con TC inferiores a 920 minutos es imposible realizar una asignación con 5 estaciones dadas las duraciones de las tareas que se están tratando. Así pues, para este TC aplicando el algoritmo de Helgeson-Birnie y teniendo en cuenta las indicaciones se obtiene la siguiente asignación de las tareas:

TC=920min (1,92días a 8h/día)

Estación E(1): 1, 2, 8, 13, 3, 5, 7, 9, 11, 4, 6, 10, 12, 14, 25', 27', 20', 22' (920min)

Estación E(2): 15, 17', 26', 18', 19', 26', 23', 38', 21' (920min)

Estación E(3): 16, 28, 27, 25, 17, 29 (910 min)

Estación E(4): 35, 30, 33, 39, 34, 31, 36, 26, 37, 40, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24', 24, 32, 38, 41 (920min)

Estación E(5): 43, 46, 48, 42, 44, 45, 47, 55', 49 (870min)

Con una eficiencia de:

$$\text{Eficiencia } e(5) = \frac{920 + 920 + 910 + 920 + 870}{5 \cdot 920} \cdot 100 = 98,69\%$$

Con esta asignación se consigue una eficiencia bastante buena pero la última estación tiene un tiempo muerto bastante grande. Además tampoco se cumplen todas las indicaciones comentadas anteriormente ya que por ejemplo el ensamblaje de subconjuntos y el montaje de estos en la máquina no siempre se realizan en la misma estación o en estaciones consecutivas. Sin embargo sí que se respeta que:

- Los ensamblajes de las tareas 20' y 22' se realicen juntos en la Estación E(1) y sus montajes correspondientes (tareas 20 y 22) se realicen juntos en la Estación E(4).
- El montaje de los sensores de ultrasonidos y de final de carrera de los rotores (tareas 31 y 32) se realicen ambos en la Estación E(4).

6.3.5. Evaluación de una línea con 6 Estaciones

Se aplica el mismo procedimiento explicado en los apartados anteriores y se calcula el tiempo de ciclo (TC):

$$\sum_{i=1}^n d_i = 4540 \text{ min} \rightarrow TC \geq \frac{4540}{6} = 756,67 \text{ min}$$

Y se redondea el valor a TC=760min (1,58días a 8h/día).

Para 6 estaciones se puede obtener la siguiente asignación:

Estación E(1): 1, 2, 8, 13, 3, 5, 7, 9, 11, 4, 6, 10, 12, 20', 23', 22' (760min)

Estación E(2): 14, 15, 17', 38', 24' (755min)

Estación E(3): 16, 28, 17, 20, 22, 23 (760min)

Estación E(4): 25', 27', 25, 27, 35, 29, 30, 33, 21', 21, 38, 24 (760min)

Estación E(5): 39, 26', 18', 19', 34, 31, 32, 37, 40, 26, 18, 19, 36, 41, 46, 42 (755min)

Estación E(6): 43, 48, 44, 55', 45, 47, 49 (750min)

$$\text{Eficiencia } e(6) = \frac{760 + 755 + 760 + 760 + 755 + 750}{6 \cdot 760} \cdot 100 = 99,56\%$$

Nótese que con esta asignación se consigue que:

- Los 3 submontajes que se ensamblan en la Estación E(1) se monten en la Estación E(3).
- De los 3 submontajes ensamblados en la Estación E(2) se monten 2 en la Estación E(4) y el que queda es el Cabezal manipulador de tubos (el subconjunto más delicado) que se monta justo a continuación en la Estación E(3).
- El operario de la Estación E(4) monte todo lo que él mismo ensambla más los 2 ensamblajes realizados en la Estación E(2). Además también se encarga de montar los drivers (tarea 35) y los motores-reductores de los rotores (tareas 29 y 30).
- Los ensamblajes de las tareas 20' y 22' se realicen juntos en la Estación E(1) y sus montajes correspondientes (tareas 20 y 22) se realicen juntos en la Estación E(3).
- El montaje de los sensores de ultrasonidos y de final de carrera de los rotores (tareas 31 y 32) se realicen ambos en la Estación E(5).

6.3.6. Evaluación de una línea con 7 Estaciones

Se aplica el mismo procedimiento explicado en los apartados anteriores y se calcula el tiempo de ciclo (TC):

$$\sum_{i=1}^n d_i = 4540 \text{ min} \rightarrow TC \geq \frac{4540}{7} = 648,57 \text{ min}$$

Con TC inferiores a 655 minutos no se puede hacer ninguna asignación con 7 estaciones dadas las duraciones de las tareas que se están tratando, así que este se debe fijar en 655 minutos.

TC=655min (1,36días a 8h/día)

Y entonces sí se puede proceder con la asignación:

Estación E(1): 1, 2, 8, 13, 3, 5, 7, 9 (655min)

Estación E(2): 11, 4, 6, 10, 12, 14, 15, 38', 23', 24' (655min)

Estación E(3): 16, 25', 27, 25, 20', 22' (655min)

Estación E(4): 28, 17', 27, 17, 26', 18', 31, 32 (655min)

Estación E(5): 29, 30, 35, 33, 39, 19', 21' (655min)

Estación E(6): 34, 36, 37, 40, 26, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 38, 41, 46, 48, 42 (635min)

Estación E(7): 43, 44, 55', 45, 47, 49 (630min)

$$\text{Eficiencia } e(7) = \frac{655 + 655 + 655 + 655 + 655 + 635 + 630}{7 \cdot 655} \cdot 100 = 99,02\%$$

Con esta asignación se consigue que:

- Todos los submontajes que se ensamblan en la Estación E(2), Estación E(3), Estación E(4) y Estación E(5) se monten en la Estación E(6), excepto el Cabezal manipulador de tubos (tareas 17' y 17) que se ensambla y se monta en la misma estación, que ya va bien dado que es el subconjunto más delicado. Además los ensamblajes de las tareas 20' y 22' se realizan juntos en la Estación E(3).
- El montaje de los sensores de ultrasonidos y de final de carrera de los rotores (tareas 31 y 32) se realicen ambos en la Estación E(4).

Con los cálculos realizados ya se puede empezar a simular el comportamiento del sistema. Sin embargo, se debe notar que en circunstancias reales, aunque el simulador a realizar no lo tenga en cuenta, los operarios no siempre tardarán exactamente el mismo tiempo en realizar las operaciones. La fatiga y la monotonía de repetir muchas veces las mismas tareas harán que a medida que avanza el día las tareas se realicen con suplementos de tiempo que al final se traducirán en una ligera pérdida de productividad.

7. Simulación del funcionamiento de la línea

Con el fin de comprobar cómo respondería el sistema ante diferentes escenarios se ha llevado a cabo la programación de una aplicación web utilizando el lenguaje Caché [12] que permite simular las singulares características de esta cadena de montaje.

El programa utilizará los datos previamente calculados y dado un número de estaciones de montaje el tiempo de ciclo será automáticamente fijado al valor calculado en el capítulo anterior tal y como muestra la tabla resumen Tab. 7.1:

Número de Estaciones	Tiempo de Ciclo (min)
3	1555
4	1135
5	920
6	760
7	655

Tab. 7.1. Tiempos de Ciclo según el número de estaciones de montaje.

Sin embargo, hay que recordar que en el cálculo de estos tiempos de ciclo las tareas correspondientes a las operaciones de calibración y test no se han tenido en cuenta ya que no son tareas propias de fabricación. Así pues, en el programa simulador a parte de las estaciones de montaje también habrá las denominadas estaciones de calibración. Cuando una unidad finalice el proceso de montaje pasará a una Estación de Calibración donde se realizarán las tareas de calibración y test. En caso que al finalizar el montaje de una unidad todas las estaciones de calibración estén ocupadas con otra unidad, la unidad saliente de la cadena de montaje se almacenará en un almacén intermedio, un “*buffer*” y permanecerá allí hasta que una estación de calibración quede liberada.

Una línea de montaje de estas dimensiones requiere de una preparación y acondicionamiento de la sala donde se va a realizar el montaje bastante importante. Por eso

es importante que una vez se inicie la producción esta se pueda llevar a cabo de forma continuada. No se contempla la posibilidad de ir parando y reanudando la cadena de montaje ya que esto supondría o tener un espacio muy grande reservado con una línea parada o tener que desmontar y luego volver a condicionar el espacio para la producción de Autoplak, lo que conllevaría a tener operarios ocupados realizando una actividad que no aporta ningún valor y que supondría un coste.

Se decide pues que las órdenes de compra sólo se acumulen al principio del ciclo, es decir, que la producción de las unidades empieza una vez se haya acumulado un número establecido de órdenes de compra. De esta manera una vez se inicie la producción, la línea deberá seguir funcionando de manera ininterrumpida (habrá que vigilar por eso que el plazo de entrega de las unidades asociadas a las órdenes de compra acumuladas no se dispare).

7.1. Características del programa

El programa dispone de unas cajas de texto donde se debe introducir el valor de los parámetros necesarios para realizar una simulación. Estos parámetros son los siguientes:

- Número promedio de órdenes de compra que se espera en un año: D
- Número de estaciones de montaje: E
- Número de estaciones de calibración: C
- Número de días que debe durar la simulación: T
- Número de órdenes de compra que se deben acumular antes de empezar la producción: A

Entonces el programa realizará una simulación de “T” días con una línea de montaje de “E” estaciones de montaje y con “C” estaciones de calibración, donde la llegada de órdenes de compra vendrá regida por una demanda promedio de “D” unidades anuales y donde antes de empezar la producción de la primera unidad se deberán haber acumulado “A” órdenes de compra.

Hay que tener en cuenta que para hacer que la simulación se parezca lo más posible a la realidad se decide que la llegada de las órdenes de compra siga una distribución aleatoria de Poisson¹. Es decir, a partir del promedio de órdenes de compra que se esperan recibir en un año introducido al simulador como parámetro ("D"), la demanda se genera de forma aleatoria siguiendo la distribución elegida durante el período de tiempo indicado.

Una vez se han introducido los valores de los parámetros, el programa tiene dos opciones:

- Realizar una simulación "**Paso por Paso**": al seleccionar esta opción aparece un diagrama de bloques simulando las estaciones y mediante incrementos de tiempo de un día, el programa irá mostrando como avanzan las máquinas por la cadena de montaje. Al finalizar la simulación se presentarán los resultados en dos tablas.
- Realizar una simulación "**Completa**": el programa no pintará ningún diagrama y los resultados finales de la simulación se presentarán directamente en el mismo formato que en la opción anterior.

El programa también dispone de un botón de "Reset" por si en algún momento se desea parar una simulación y borrar el valor de los parámetros de entrada.

Los resultados se presentan en forma de tabla, que contiene información sobre la producción de cada una de las órdenes de compra que han llegado durante el período simulado (Tab. 7.2):

¹ Se elige la distribución de Poisson ya que se trata de una distribución de probabilidad discreta que se especializa en sucesos con probabilidades pequeñas. En este caso estamos hablando de que la frecuencia de llegada de órdenes de compra que se va a simular es de como máximo 60 unidades al año, así pues, se considera que esta distribución es la que mejor se adecua.

Nº Orden de Compra				
Día de Entrada				
Inicio Producción				
Fin Producción				
Tiempo de entrega				

Tab. 7.2. Resultado de la simulación que presenta los tiempos de ejecución de los órdenes de compra en días.

Así pues, para cada orden de compra se dispone del día en que esta ha llegado, del día que la unidad asociada a ella se ha empezado a producir y el día en que el proceso de fabricación y calibración ha sido completado; así, se puede calcular el tiempo de entrega de la unidad restando el día que se ha finalizado la unidad menos el día que se recibió el orden de compra.

A continuación se muestra una captura de la pantalla principal del programa de simulación donde se pueden ver las cajas donde se deben introducir los parámetros y los botones para realizar las diferentes operaciones (Fig. 7.1):

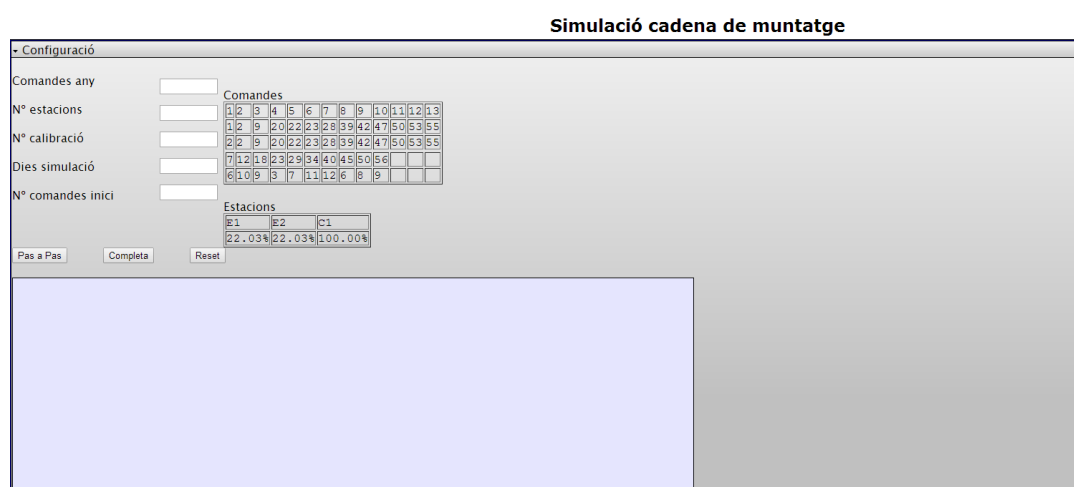


Fig. 7.1. Pantalla principal del programa “Simulació cadena de muntatge”.

7.2. Simulaciones realizadas

Se ha decidido estudiar tres posibles escenarios de demanda (baja, media y alta) y a partir de aquí se han realizado diferentes pruebas jugando con el resto de parámetros disponibles con el objetivo de encontrar cual sería la configuración óptima para cada situación.

7.2.1. Consideraciones previas

- El período de tiempo a simular será siempre de 250 días, que son aproximadamente las jornadas laborales de un año.
- Las simulaciones se considerarán válidas si al finalizar los 250 días se han fabricado como mínimo el mismo número de unidades que la demanda anual media. Posteriormente, se analizará cómo se ha efectuado la producción de este número de unidades igual a la media. Es decir, que si en una simulación donde la media de unidades es de 40 al año, en los 250 días simulados llegan órdenes de compra para 42 unidades, las 2 últimas unidades no se tendrán en cuenta a la hora de comparar los resultados entre todas las réplicas. De esta manera siempre se compararán los resultados del mismo número de unidades entre réplicas.
- El plazo de entrega de una unidad es de 30 días. A partir de aquí se asume que el coste por día de retraso en entregar la unidad es de 250€.
- Asimismo también se considerará que si una unidad se termina de fabricar antes del plazo esto supone un coste adicional para la empresa ya que deberá almacenarla. Este coste se supone de 50€ por día.
- Se realizarán 10 réplicas por cada combinación de parámetros a estudiar. Sin embargo, si en las 5 primeras réplicas el plazo de entrega medio es superior a 40 días o la media de unidades entregadas fuera de plazo supera el 20% se descartará esta combinación automáticamente. Si la media de tiempo en terminar las unidades es inferior a 20 días también se descartará la combinación ya que no es viable almacenar tantas unidades durante tanto tiempo.
- La estimación del salario de los operarios se basa en lo que se especifica en el “Butlletí oficial de la Província de Barcelona” de mayo de 2014 [13]. En este documento también se especifica que el número de horas laborables es de 1750. Hay que tener en cuenta que al sueldo especificado hay que añadirle la cuota patronal que es de un 37,8% para obtener cual es el coste real para la empresa.

	Anual (€)	Anual con Cuota (€)	€/h	€/día
Sueldo operario (Grupo Profesional 7)	19902,57	27425,74	15,67	125,37
Sueldo operario técnico (Grupo Profesional 3)	22365,55	30819,73	17,61	140,89

Tab. 7.3. Sueldos de los operarios considerados (sin y con cuota patronal y en €/h y €/día).

- Al finalizar todas las simulaciones de una configuración se hará la media de todos los resultados y se calculará el coste que supondría para la empresa realizar la producción. El coste de personal se calculará a partir del día en que se empieza a producir la primera máquina y teniendo en cuenta los salarios indicados en el punto anterior, tal y como se indica en la Ec.7.1:

$$\text{Coste de Personal (€)} = (250 - \text{Días hasta inicio de Producción}) \text{ días} \cdot (n^{\circ} \text{ Operarios Montaje} \cdot \text{Sueldo Operario Montaje} + n^{\circ} \text{ Operarios Calibración} \cdot \text{Sueldo Operario Calibración}) \text{ €/día} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

- Al coste de personal hay que sumarle el coste que conllevan los avances y retrasos en las entregas de las unidades para así obtener el coste total que supondría realizar la producción con la configuración dada (Ec.7.2):

$$\text{Coste Total (€)} = \text{Coste de Personal (€)} + n^{\circ} \text{ días de retraso} \cdot 250 \text{ €/día} + n^{\circ} \text{ días de avance} \cdot 50 \text{ €/día} \quad (\text{Ec. 7.2})$$

7.2.2. Escenario 1: demanda baja (20 unidades/año)

Para este escenario resulta inviable plantearse configuraciones con más de 5 estaciones de montaje y 2 de calibración ya que el sistema queda muy sobredimensionado. Asimismo, acumular más de un 20% de las órdenes de compra esperadas antes de empezar la producción retrasa tanto el inicio de la fabricación que los plazos de entrega de las unidades se ven seriamente comprometidos. Por ello se concluye que las configuraciones de parámetros a estudiar en este escenario deben ser las siguientes (Tab. 7.4):

Configuración	Demanda Anual	Estaciones Montaje	Estaciones Calibración	Acumulación Órdenes de Compra
B1	20	3	1	10%
B2	20	3	1	20%
B3	20	3	2	10%
B4	20	3	2	20%
B5	20	4	1	10%
B6	20	4	1	20%
B7	20	4	2	10%
B8	20	4	2	20%
B9	20	5	1	10%
B10	20	5	1	20%
B11	20	5	2	10%
B12	20	5	2	20%

Tab. 7.4. Resumen de las combinaciones de parámetros simuladas con demanda baja.

La siguiente tabla (Tab. 7.5) recoge los resultados de todas las simulaciones una vez se ha hecho la media de todas las réplicas de una misma configuración de parámetros. La configuración óptima está resaltada en verde:

Configuración	nº Réplicas	Tiempo Entrega medio (días)	Retraso total medio (días)	Avance total medio (días)	Media Unidades Fuera de Plazo	Tiempo medio Inicio Producción	Coste Personal (€)	Coste Total (€)
B1	5	16,19	-13,82	276,30	0,0%	19,70	119.068,47	119.068,47
B2	10	21,39	-8,61	208,30	15,0%	44,60	106.194,81	115.219,81
B3	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
B4	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
B5	10	21,13	-8,88	177,50	0,0%	21,30	146.914,47	146.914,47
B6	10	20,79	-9,21	210,80	15,0%	39,50	135.222,98	141.872,98
B7	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
B8	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
B9	5	43,48	13,48	104,40	60,0%	79,40	130.980,59	223.980,59
B10	5	42,32	12,32	56,80	50,0%	84,40	127.141,76	202.941,76
B11	10	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
B12	10	0,00	-	-	0,0%	-	-	-

Tab. 7.5. Resultados de las simulaciones con demanda baja.

Como se puede observar la configuración B1 se tiene que descartar debido a que las unidades se terminan de fabricar demasiado pronto ya que el número de órdenes de compra acumuladas al principio (10%) es muy bajo. Sin embargo, al aumentar las órdenes de compra acumuladas, se es capaz de ajustar mejor el plazo de entrega a los 30 días deseados y nos encontramos con que la configuración B2 es la que supone un menor coste total.

No tiene sentido realizar simulaciones con las configuraciones B3 y B4 ya que aumentar el número de estaciones de calibración haría que el plazo de entrega disminuyera de manera considerable suponiendo así un coste total mayor para la empresa. Lo mismo ocurre para las configuraciones B7 y B8.

Las configuraciones B9 y B10 deben ser descartadas ya que tanto el tiempo de entrega medio como las unidades entregadas fuera de plazo son excesivamente altos. Las configuraciones B11 y B12 también se descartan ya que seguro que acabarían suponiendo unos costes más elevados que las configuraciones previamente probadas que sí cumplían los requisitos exigidos.

7.2.3. Escenario 2: demanda media (40 unidades/año)

Las pruebas preliminares para este escenario concluyen que configuraciones con más de 6 estaciones de montaje y 2 de calibración hacen que el sistema quede muy sobredimensionado. También determinan que un número inferior a 4 estaciones de montaje

o intentar acumular más de un 20% de las órdenes de compra esperadas al principio perjudica demasiado los plazos de entrega de las unidades. Por ello se concluye que las configuraciones a estudiar en este escenario deben ser las siguientes (Tab. 7.6):

Configuración	Demanda Anual	Estaciones Montaje	Estaciones Calibración	Acumulación Órdenes de Compra
M1	40	4	1	10%
M2	40	4	1	20%
M3	40	4	2	10%
M4	40	4	2	20%
M5	40	5	1	10%
M6	40	5	1	20%
M7	40	5	2	10%
M8	40	5	2	20%
M9	40	6	1	10%
M10	40	6	1	20%
M11	40	6	2	10%
M12	40	6	2	20%

Tab. 7.6. Resumen de las combinaciones de parámetros simuladas con demanda media.

A continuación se presenta la tabla (Tab. 7.7) que recoge los resultados de todas las simulaciones una vez se ha hecho la media de todas las réplicas de una misma configuración de parámetros. La configuración óptima está resaltada en verde:

Configuración	nº Réplicas	Tiempo Entrega medio (días)	Retraso total medio (días)	Avance total medio (días)	Media Unidades Fuera de Plazo	Tiempo medio Inicio Producción	Coste Personal (€)	Coste Total (€)
M1	10	25,23	-4,77	202,80	17,5%	28,70	142.160,79	145.435,79
M2	5	48,92	18,92	0,00	100,0%	45,60	131.304,41	320.454,41
M3	5	14,93	-15,08	603,00	0,0%	21,30	179.136,05	179.136,05
M4	10	21,04	-8,96	447,90	20,0%	48,00	158.222,49	180.597,49
M5	10	26,39	-3,61	150,80	15,0%	22,40	174.743,15	176.318,15
M6	5	47,14	17,14	0,00	100,0%	47,60	155.395,49	326.795,49
M7	10	19,61	-10,39	415,50	0,0%	22,30	206.900,62	206.900,62
M8	10	27,82	-2,19	134,50	25,0%	42,20	188.818,40	200.593,40
M9	10	19,18	-10,82	434,80	2,5%	24,80	201.134,92	201.634,92
M10	5	41,28	11,28	12,30	80,0%	44,70	183.361,46	299.186,46
M11	5	10,22	-19,78	791,20	0,0%	27,00	230.588,53	230.588,53
M12	5	15,32	-14,68	640,00	17,5%	44,40	212.596,42	225.821,42

Tab. 7.7. Resultados de las simulaciones con demanda media.

Como se puede ver en la tabla anterior la configuración M1 es la que supone un coste total menor para la empresa. El tiempo de entrega medio es muy cercano a 30 días y es la

combinación que supone menos coste a nivel de personal. Por eso, al aumentar la acumulación al 20% el tiempo de entrega se dispara y se tiene que descartar la M2.

En la configuración M3 el tiempo de entrega cae a la mitad del valor deseado debido a que se ha añadido una estación de calibración y entonces debe ser descartada. Respecto a M4 y M5, se puede ver que cumplen todos los requisitos exigidos, sin embargo al tener más estaciones que M1 su coste también es mayor.

En M6 al intentar acumular más unidades y solo tener una estación de calibración, el tiempo de entrega es demasiado alto. Al añadir por eso esta otra estación de calibración se encuentran las configuraciones M7 y M8, que deben ser descartadas pero por poco, la primera por tener un tiempo de entrega ligeramente bajo y la segunda por entregar unas pocas unidades de más fuera de plazo.

La configuración M9 casi cumple con los requerimientos establecidos, pero aunque los respetara, como tiene más estaciones tendría un coste mayor que M1. La configuración M10 igual que pasaba con la M6 y la M2 al intentar acumular un mayor número de órdenes de compra con solo una estación de calibración, el tiempo de entrega se dispara muy por encima de lo deseado y debe ser descartada.

Para terminar, se encuentran las configuraciones M11 y M12 que se deben descartar ya que sobredimensionan demasiado el sistema obteniendo unos tiempos de entrega muy por debajo de lo deseado.

7.2.4. Escenario 3: demanda alta (60 unidades/año)

Las pruebas preliminares para este escenario concluyen que configuraciones con más de 7 estaciones de montaje y 2 de calibración hacen que el sistema quede muy sobredimensionado. También determinan que un número inferior a 4 estaciones de montaje o intentar acumular más de un 20% de las órdenes de compra esperadas al principio perjudica demasiado los plazos de entrega de las unidades. Por ello se concluye que las configuraciones a estudiar en este escenario deben ser la siguientes (Tab. 7.8):

Configuración	Demanda Anual	Estaciones Montaje	Estaciones Calibración	Acumulación Órdenes de Compra
A1	60	4	1	10%
A2	60	4	1	20%
A3	60	4	2	10%
A4	60	4	2	20%
A5	60	5	1	10%
A6	60	5	1	20%
A7	60	5	2	10%
A8	60	5	2	20%
A9	60	6	1	10%
A10	60	6	1	20%
A11	60	6	2	10%
A12	60	6	2	20%
A13	60	7	1	10%
A14	60	7	1	20%
A15	60	7	2	10%
A16	60	7	2	20%

Tab. 7.8. Resumen de las combinaciones de parámetros simuladas con demanda alta.

Una vez más se presentan los resultados en forma de tabla (Tab. 7.9) recogiendo los datos de todas las simulaciones una vez se ha hecho la media de todas las réplicas de una misma configuración de parámetros. La configuración óptima está resaltada en verde:

Configuración	nº Réplicas	Tiempo Entrega medio (días)	Retraso total medio (días)	Avance total medio (días)	Media Unidades Fuera de Plazo	Tiempo medio Inicio Producción	Coste Personal (€)	Coste Total (€)
A1	5	76,62	46,62	5,40	96,7%	16,00	150.319,13	850.969,13
A2	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
A3	5	16,94	-13,06	783,80	1,7%	20,60	179.684,35	179.734,35
A4	5	26,58	-3,42	443,80	45,0%	49,20	157.282,55	216.982,55
A5	5	79,09	49,09	0,00	100,0%	29,60	169.215,25	905.515,25
A6	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
A7	10	26,42	-3,59	245,80	16,7%	21,90	207.264,08	214.939,08
A8	5	47,55	17,55	0,00	100,0%	48,00	183.548,20	446.748,20
A9	5	75,65	45,65	0,00	100,0%	25,80	200.241,78	884.941,78
A10	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
A11	5	10,59	-19,41	1169,60	1,7%	26,20	231.415,75	232.615,75
A12	5	21,45	-8,55	717,60	31,7%	43,60	213.423,64	264.773,64
A13	5	56,77	26,77	73,00	85,0%	8,60	245.869,26	665.669,26
A14	0	0,00	-	-	0,0%	-	-	-
A15	5	12,70	-17,30	1039,20	1,7%	21,80	264.576,01	264.826,01
A16	5	23,16	-6,84	630,40	26,7%	50,60	231.185,18	286.135,18

Tab. 7.9. Resultados de las simulaciones con demanda alta.

En este caso es difícil encontrar alguna configuración cuyo resultado después de realizar las 5 primeras réplicas no incumpla alguno de los requisitos exigidos. La configuración A7, sin embargo, tiene un plazo de entrega muy cercano a los 30 días y, aunque no acumule muchas órdenes de compra antes de empezar la producción y exija de dos operarios de calibración, es la configuración por la que se debería optar. Si se intenta acumular más órdenes manteniendo el resto de parámetros (A8) el tiempo de entrega y las unidades entregadas fuera de plazo se disparan.

Como la configuración A1 da un tiempo de entrega tan alto y prácticamente todas las unidades son entregadas fuera de plazo, no tiene sentido realizar pruebas con A2 ya que esta configuración intenta acumular más órdenes de compra manteniendo el resto de parámetros. Lo mismo ocurre con las configuraciones A5 y A6, A9 y A10, A13 y A14, por eso con A6, A10 y A14 no se realizan pruebas.

Con la configuración A3 el sistema queda sobredimensionado y el tiempo de entrega es demasiado bajo, en cambio con A4 al intentar acumular más demanda manteniendo el número de estaciones, aun y respetando el tiempo de entrega medio, se entregan demasiadas unidades fuera de plazo. Esta situación se repite exactamente igual entre las configuraciones A11 y A12, y también entre A15 y A16.

8. Presupuesto

A continuación se realizará un presupuesto del coste que tendría para NTE-SENER tener el sistema productivo en forma de línea de montaje operativa durante un año en un escenario de demanda media como el que se ha planteado anteriormente (40 unidades al año). Como sólo se tendrán en cuenta los costes directamente imputables a la producción de Autoplak, de los costes generales como los suministros o la limpieza de la nave industrial sólo se valorará la parte proporcional a los días que dura la producción, no se imputará todo el coste anual.

Como se ha visto en el punto 7.2.3. ante esta situación lo más indicado sería tener a 4 empleados dedicados al montaje, uno a las calibraciones y acumular un 10% de las órdenes de compra antes de empezar la producción. Así pues, con los salarios indicados en la Tab.7.4 del punto 7.2.1 y los resultados de las simulaciones que permiten saber qué día debería empezar la producción, se puede calcular el coste anual de personal:

$$\begin{aligned} \text{Coste de Personal [€]} &= (250 - \text{Días hasta inicio de Producción}) [\text{días}] \cdot (n^{\circ} \text{ Operarios} \\ &\text{Montaje} \cdot \text{Sueldo Operario Montaje} + n^{\circ} \text{ Operarios Calibración} \cdot \text{Sueldo Operario} \\ &\text{Calibración}) [\text{€/día}] = (250 - 28,7) \cdot (4 \cdot 125,37 + 1 \cdot 140,89) = 142.160,79 \text{ €} \quad (\text{Ec. 8.1}) \end{aligned}$$

Además se requiere la disponibilidad de un operario de almacén, no sólo para que descargue los componentes que vayan llegando a la nave industrial y los almacene debidamente, sino también para que los transporte a la zona de montaje cuando sea necesario. Este operario debe ser capaz de manejar un toro mecánico para poder mover los robots y actuadores. Se estima que de media el operario de almacén va a estar dedicado a la producción de Autoplak 3 horas al día. El sueldo mensual de un operario peón especializado es de 1.019,62 € tal como indica el “Diari Oficial de la Generalitat” [14]. A este importe por eso hay que añadirle la cuota patronal igual que se ha hecho anteriormente para saber el coste real que tiene para la empresa (la cuota es de un 37,8%) y dividir entre 20 para saber el coste diario (se estima en 20 el número de días lectivos de un mes):

$$\begin{aligned} \text{Coste Operario de Almacén [€]} &= (250 - \text{Días hasta inicio de Producción}) [\text{días}] \cdot \\ &(\text{Sueldo operario Almacén}) [\text{€/día}] \cdot (\text{Proporción de horas}) [h/h] = (250 - 28,7) \cdot \\ &(1.019,62 \cdot 1,378 / 20) \cdot (3 / 8) = 5.830,02 \text{ €} \quad (\text{Ec. 8.2}) \end{aligned}$$

También es necesario incluir una parte proporcional del coste de limpieza de la nave industrial. Este se puede calcular a partir del sueldo de un operario de limpieza especificado en el “Diari Oficial de la Generalitat” [14] que es de 1.002,63 € al mes y añadiendo la cuota patronal del 37,8%. Hay que contar con que se tarda 2 horas en limpiar toda la nave y que

esta limpieza se realiza una vez por semana. Además, se asume que de toda la superficie de la nave industrial la proporción que va a estar dedicada a la producción de las unidades de Autoplak es de un 40%. Por tanto, el coste de limpieza debe ser ponderado por este factor (igual que antes el número de días lectivos al mes se estima en 20):

$$\begin{aligned} \text{Coste Operario de Limpieza [€]} &= (250 - \text{Días hasta inicio de Producción}) [\text{días}] \cdot 1 / \\ &5 [\text{semana/días laborables}] \cdot (\text{Sueldo operario Limpieza}) [\text{€/día}] \cdot (\text{Proporción de} \\ &\text{horas}) [h/h] \cdot (\text{Proporción de Superficie}) = (250 - 28,7) \cdot 1/5 \cdot (1.002,63 \cdot 1,378 / 20) \cdot 2/8 \\ &\cdot 0,40 = 305,75 \text{ €} \end{aligned} \quad (\text{Ec.8.3})$$

Y por último, se tienen que añadir los costes de los suministros de electricidad y gas de la nave industrial. Esta tiene unas dimensiones de 37m de largo por 15m de ancho con una altura de 7,5m. Los focos de luz están distribuidos tal y como muestra el siguiente esquema (Fig. 8.1):

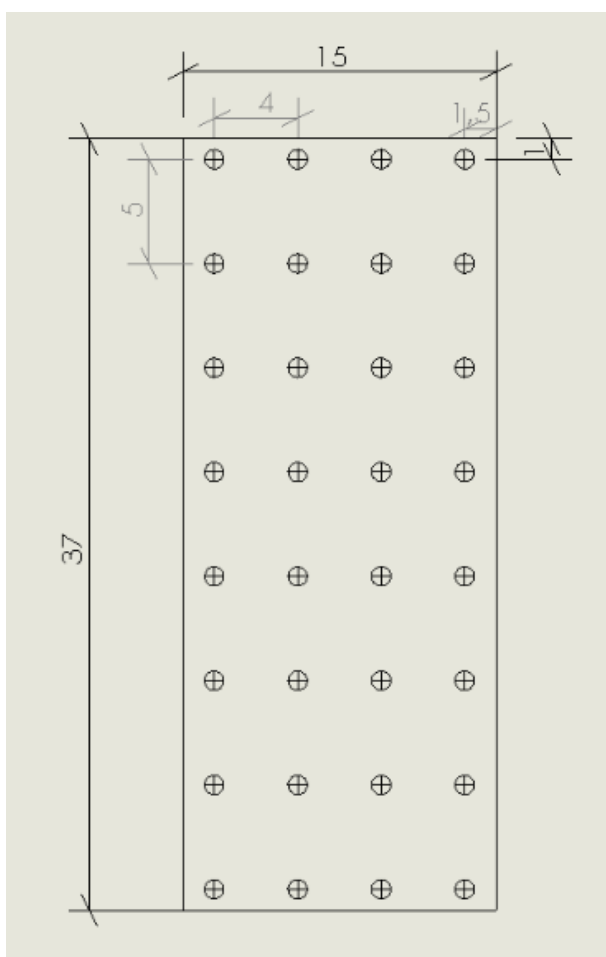


Fig. 8.1. Esquema con las cotas en metros de la nave industrial con la ubicación de los focos de iluminación.

En total hay instalados 32 focos del modelo RVP351 -250W-Simétrico [15]. Si se considera que estos están encendidos durante 8 horas al día y que el precio del kWh pactado con la empresa suministradora es de 0,14€/kWh el Coste total anual es de:

$$\text{Coste de Luz [€]} = \text{Precio [€/kWh]} \cdot (250 - \text{Días hasta inicio de Producción}) [\text{días}] \cdot (\text{nº horas al día de trabajo}) [\text{h/día}] \cdot (\text{nº focos} \cdot \text{Potencia de 1 foco}) [\text{kW}] = 0,14 \cdot (250 - 28,7) \cdot (9) \cdot (32 \cdot 250 \cdot 10^{-3}) = 2.230,70 \text{ €} \quad (\text{Ec. 8.4})$$

Para la climatización de la nave industrial se cuenta con un sistema de calderas alimentadas cuyo consumo es conocido y es de 360.000 kWh al año. El precio pactado con la compañía suministradora es de 0,06 €/kWh. Por tanto, el coste anual de gas es de:

$$\text{Coste de Gas [€]} = ((250 - \text{Días hasta inicio de Producción}) [\text{días}] / 250 [\text{días}]) \cdot (\text{Consumo anual medio}) [\text{kWh}] \cdot \text{Precio [€/kWh]} = ((250 - 28,7) / 250) \cdot 360.000 \cdot 0,06 = 19.120,32 \text{ €} \quad (\text{Ec. 8.5})$$

Igual que antes, el coste de los suministros debe ser ponderado con la proporción de la nave industrial dedicada a la producción de Autoplak, que es del 40%:

$$\text{Coste Suministros [€]} = (\text{Coste Luz} + \text{Coste Gas}) [\text{€}] \cdot \text{Ponderación Superficie} = (2.230,70 + 19.120,32) \cdot 0,4 = 8.540,41 \text{ €} \quad (\text{Ec. 8.6})$$

En resumen, los gastos a asumir para llevar a cabo la producción de las unidades de Autoplak durante un año en un escenario de demanda media serían los siguientes (Tab.8.1):

#	Descripción	Importe [€]
1	Costes del personal de la línea de montaje (Operarios Montaje y Operarios Calibración)	142.160,79
2	Coste Operario Almacén	5.830,02
3	Coste Limpieza de la Nave Industrial	305,75
4	Suministros Nave Industrial	8.540,41
	TOTAL	156.836,97

Tab. 8.1. Presupuesto de los costes de la línea de producción en un escenario de demanda media durante un año.

Como se puede ver el coste total a asumir para mantener la línea de producción durante todo el año no es muy elevado en comparación a lo que se ingresaría por la venta de las unidades (se recuerda que el precio de una unidad de Autoplak es de 140.000€).

Hay que considerar por eso que los clientes también exigirán planes de financiación y que no desembolsarán todo el importe en el momento de la compra, sin embargo, sí deberán abonar una paga y señal. Aún así, parece difícil que se pudiera dar la situación de que NTE-SENER tuviera problemas de tesorería en el momento de afrontar los gastos que conlleva la producción de las unidades de Autoplak.

9. Estudio de impacto ambiental

Como en cualquier proceso de producción durante el montaje de una unidad de Autoplak se generan residuos. Sin embargo, hay que recordar que al tratarse básicamente de un proceso de ensamblaje, el impacto ambiental de este no es muy grande.

También es importante tener en cuenta qué materiales han sido utilizados en las piezas y componentes que luego son ensamblados en una unidad de Autoplak para poder valorar qué impacto tendría el desmantelamiento de una unidad.

9.1. Residuos generados durante el proceso de producción

Como ya se ha comentado, el proceso de montaje de una unidad de Autoplak es básicamente de ensamblaje, los materiales no son procesados y simplemente las tareas a llevar a cabo consisten en montar y conectar los diversos mecanismos y componentes eléctricos. Los residuos que se generan durante el proceso corresponden básicamente a los embalajes y protecciones con los que los diversos componentes y piezas han sido transportados hasta las instalaciones de NTE-SENER.

Entre todos los componentes destacan los embalajes de los robots y actuadores ya que al tratarse de piezas con grandes dimensiones y delicadas, se transportan en grandes cajas de madera. Es por eso que cada vez que se lleve a cabo una tarea de montaje de uno de estos mecanismos, una cantidad de madera considerable deberá ser separada. A continuación la Tab. 9.1 muestra las dimensiones que tienen las cajas de madera en las que vienen los diferentes robots y actuadores a montar en cada una de las estaciones de trabajo. Teniendo en cuenta que estas tienen forma de paralelepípedo y que por tanto podemos calcular la superficie total según la Ec.9.1:

$$\text{Superficie Total [cm}^2\text{]} = 2 \cdot \text{Anchura[cm]} \cdot \text{Profundidad[cm]} + 2 \cdot \text{Anchura[cm]} \cdot \text{Altura[cm]} + 2 \cdot \text{Profundidad[cm]} \cdot \text{Altura[cm]} \quad (\text{Ec. 9.1})$$

Tarea	Anchura [cm]	Profundidad [cm]	Altura [cm]	Superficie total [cm ²]	Superficie total [m ²]
3	60	73	33	17538,00	1,75
5	91	54	49	24038,00	2,40
7	145	54	26	26008,00	2,60
9	65	18	18	5328,00	0,53
11	65	18	18	5328,00	0,53
34	50	50	25	10000,00	1,00
43	210	110	30	65400,00	6,54
44	91	50	30	17560,00	1,76
45	188,6	70	10	31576,00	3,16
47	169,5	62,8	10	25935,20	2,59
48	57,3	93	5	12160,80	1,22
				TOTAL	24,09

Tab. 9.1. Dimensiones de las cajas de madera con las que han sido transportados los robots correspondientes de cada tarea.

Estas cajas son fácilmente desmontables, así que se podrían dejar separadas las planchas de madera para reciclarlas ya que como se puede ver el montante final generado por unidad de Autoplak es bastante alto. La madera es completamente reciclable, y hay empresas que se dedican a recogerla, ya que esta se puede triturar fácilmente y luego hacerla astillas para convertirla en un tablero prensado, aglomerado, pulpa y productos de papel o combustible de biomasa.

La mayoría de los otros componentes, como son enviados desde los respectivos proveedores, le son entregados a NTE-SENER en cajas de cartón, que al igual que la madera es fácilmente reciclable mediante un proceso que consiste en aplastarlo para convertirlo en pasta y volverlo a mezclar con pasta proveniente de madera. Entra dentro de la política de la empresa reciclar todo el papel y cartón generado, no sólo en los procesos productivos, sino también en las oficinas. En las salas de montaje se cuenta con unos contenedores especiales donde se pueden dejar los restos de papel y cartón, que quedan separados hasta que otra empresa pasa periódicamente a recogerlos para someterlos a un proceso de reciclaje.

En resumen, ya se tiene un acuerdo con una empresa para reciclar todo el papel y cartón que NTE-SENER se encarga de separarlo y guardarlo en los contenedores correspondientes. Entonces, se debería preguntar a la misma empresa o buscar otra que se comprometa a recoger y tratar la madera generada durante el proceso de producción de las unidades de Autoplak.

9.2. Desmantelamiento de la máquina

A la hora de desmantelar una máquina de este estilo, como en cualquier proceso de reciclaje, lo más importante es separar los componentes según el tipo de material, ya que cada uno debe ser procesado de manera distinta. A continuación, se listan los materiales con los que están hechos los principales componentes y piezas de una unidad de Autoplak y cómo estos pueden ser reutilizados:

- La estructura de acero: la estructura principal de una unidad Autoplak sobre la cual se ensambla todo está hecha de Acero inoxidable AISI 304. Este material no pierde sus cualidades al ser reciclado, así que se puede reprocesar múltiples veces. Además, como posee propiedades magnéticas, estas facilitan el proceso de recuperación en muchos casos.
- Los robots y actuadores hechos de aluminio: todas las piezas y brazos de los robots están hechas de aluminio. El proceso de reciclaje de este se basa simplemente en refundirlo lo cual es mucho más barato e implica menos coste energético que producirlo de nuevo.
- Componentes eléctricos: estos pueden ser desmontados y sus partes reutilizadas. Por ejemplo, los componentes de las placas electrónicas se pueden desoldar fácilmente con un soldador y reutilizarlos. Las carcasas de plástico y aluminio también pueden ser recicladas.
- Cables: todos los cables utilizados en Autoplak son cables de cobre recubiertos de plástico. El proceso para reciclar estos cables es bastante estándar y es fácil encontrar instalaciones capacitadas para llevarlo a cabo. Básicamente este se basa en triturarlos y luego separar los filamentos de cobre de los trozos de plástico. Posteriormente, estos son tratados por separado y ambos pueden ser reutilizados. Los leds se pueden guardar para reutilizarlos.
- Plástico de los paneles exteriores: estos paneles son de metacrilato (PMMA). Este plástico es de bajo peso y de poca fragilidad, lo que lo hace ideal para acabados decorativos. Además es bastante resistente al rayado. Los paneles utilizados en una unidad de Autoplak tienen las siguientes dimensiones indicadas en la Tab. 9.2:

Panel	Anchura [mm]	Profundidad [mm]	Altura [mm]	Volumen [mm ³]	Volumen [cm ³]
Lateral	1886	700	10	13202000	13202,00
Lateral	1886	700	10	13202000	13202,00
Posterior Inferior	1696	782	10	13262720	13262,72
Posterior Superior	1696	1102	10	18689920	18689,92
Frontal Superior	1695	628	10	10644600	10644,60
Inferior	1149	219,5	10	2522055	2522,06
Puerta Racks	543	291	10	1580130	1580,13
Frontal Cajón izq.	217	142	10	308140	308,14
Frontal Cajón der.	217	42	10	91140	91,14
Puerta izq.	573	930	10	5328900	5328,90
Puerta der.	573	930	10	5328900	5328,90
				TOTAL	84160,51

Tab. 9.2. Tabla con las dimensiones de los paneles de metacrilato de una unidad de Autoplak.

El metacrilato es un plástico fácilmente reciclable, Puede ser molido o tratado químicamente para reducirlo al monómero original. Independientemente del proceso, el resultado es un material de la misma calidad que el original.

- Sistema de iluminación LED: está constituido por un cable con leds recubierto de plástico. Este recubrimiento se puede desenganchar fácilmente y los leds se pueden desoldar con unas pinzas y un soldador. A partir de aquí, el cable y el recubrimiento de plástico (metacrilato) se podría reciclar como se ha explicado en los puntos anteriores.
- Se tiene que mencionar también que al disponer de una impresora, como esta tiene tóner este se debe separar y tratar a parte. Los cartuchos de tinta y tóner agotados pueden ser componentes peligrosos por contener o haber contenido cierto tipo de disolventes peligrosos o sustancias constituidas por metales pesados. Además estos cartuchos están normalmente hechos con un plástico difícil de reciclar. Son por lo tanto, peligrosos para la salud y el medioambiente. Es por eso que los cartuchos de la impresora deberían ser entregados a una empresa especializada en reciclar y reutilizar cartuchos de tóner agotados.

A pesar de que el desmantelamiento de la unidad de Autoplak deberá ser efectuado por la empresa que la haya adquirido y usado, NTE-SENER es responsable de facilitar un manual a los clientes para que estos puedan efectuar el desmantelamiento debidamente.

9.3. Opciones alternativas

En lugar de desmontar y dismantelar la unidad de Autoplak, otra opción que tendría una empresa que se quiera deshacer de la máquina sería donarla a alguna asociación benéfica, centro de investigación o centro de enseñanza que aún pueda seguir dándole utilidad. Esta es una práctica común entre empresas que se quieren deshacer de un equipo que ha quedado obsoleto para ellas, aunque deben garantizar que la máquina en cuestión aún está en buen estado. Dado que el ámbito es sanitario, sería lógico pensar que puede ser utilizada para enseñanzas profesionales o universitarias que requieran de su conocimiento o utilización.

Conclusiones

Se ha demostrado que adquirir una unidad de Autoplak es rentable para las empresas y laboratorios ya que la máquina se encarga de realizar una tarea simple y repetitiva como es el sembrado de placas Petri, de forma rápida y eficiente. De esta manera, los recursos humanos que las empresas tenían dedicados a realizar esta operación pueden dedicarse a otras actividades que aporten más valor.

Con el estudio de mercado realizado, se augura un buen escenario para la comercialización y distribución del sembrador automático Autoplak, pudiendo llegar incluso a vender más de 40 unidades al año.

Dada la previsión de ventas realizada y la naturaleza del proceso de montaje de una unidad de Autoplak, se ha diseñado un flujo regular de fabricación que se asemeja a una línea de producción que es capaz de producir la demanda estimada en todos los escenarios contemplados. Gracias al análisis de los componentes de la máquina, se han podido organizar en tareas las actividades de ensamblaje necesarias para fabricar una unidad, que a su vez, se han podido distribuir en estaciones de trabajo para realizar un equilibrado de línea.

El estudio del comportamiento de la línea de montaje ante diferentes escenarios se ha realizado mediante un programa simulador que emulaba una demanda aleatoria. Se ha visto que a partir de 3 parámetros (número de estaciones de trabajo, número de estaciones de calibración y número de unidades a acumular antes de empezar la producción) se han podido determinar los recursos necesarios para realizar una producción de un número establecido de unidades durante el período de tiempo deseado.

El presupuesto aproximado de llevar a cabo la producción también ha sido calculado y es completamente asumible para una empresa del calibre de NTE-SENER.

Además, como el proceso de montaje se trata puramente de un proceso de ensamblaje en el que no se deben realizar tareas de fabricación, se ha visto que el impacto ambiental del proceso de producción no es muy elevado ya que este se limita a los desechos de madera y cartón en los que los componentes son recibidos en las instalaciones y a realizar adecuadamente el desmantelamiento de la máquina.

Teniendo en cuenta todos estos puntos se puede concluir que NTE-SENER debería producir las unidades de Autoplak siguiendo la metodología de producción propuesta ya que esto le permitirá ser capaz de cumplir la demanda y optimizar los recursos.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] *Annex 1 Taules salarials*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya Núm.6277-19.12.2012 CVE-DOGC-A-12346023-2012.
- [2] *Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición)*. Diario Oficial de la Unión Europea, núm 157, de 9 de junio de 2006, páginas 24 a 86.
- [3] *DIRECTIVA 2006/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de diciembre de 2006 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión*. Diario Oficial de la Unión Europea, serie L núm 374, de 27 de diciembre de 2006.
- [4] *Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE*. Diario Oficial de la Unión Europea, serie L núm 390, de 31 de diciembre de 2006.
- [5] *Directiva 2000/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (Séptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)*. Diario Oficial de la Unión Europea, núm. 262, de 17 de octubre de 2000, páginas 21 a 45.
- [6] *Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Diario Oficial de la Unión Europea, serie L núm. 037, de 13 de febrero de 2003.
- [7] *Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*. Diario Oficial de la Unión Europea, núm 174, de 1 de julio de 2011, páginas 88 a 110.
- [8] *UNE-EN ISO 15189:2007 Laboratorios clínicos. Requisitos particulares para la calidad y la competencia (ISO 15189:2007)*. AENOR, 5 de setiembre de 2007.

- [9] Domínguez Machuca, José Antonio. *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Madrid: McGraw-Hill 1995. Capítulo 5.
- [10] W. Fogarty, Donald. *Production and Operations Management*. Cincinnati, Ohio: South-Western Publishing Co.1989. Chapter 14.
- [11] Heizer, Jay ; Render, Barry. *Dirección de la producción y de Operaciones*. Madrid: Pearson Educación 2008. Capítulo 5.
- [12] InterSystems Corporation. *Guía Tecnológica de Caché*.
[url:<http://www.intersystems.com/assets/sites/10/Guía-Tecnológica.pdf>]
- [13] *Bulletí Oficial de la Província de Barcelona*. Diputació de Barcelona 29 de maig de 2014.
- [14] *Taules Conveni de Neteja de Catalunya*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya Núm.6523-17.12.2013 CVE-DOGC-A-13345089-2013.
- [15] *Folleto Tempo 3 RVP351 SON-TPP250W K IC S*. Philips, 15 de octubre de 2014.